



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

Sistema 'CLEANLEACH®':

- I. Avaluació de l'ús de graves de demolició com a substrat en aiguamoll artificial.**
 - II. Seguiment dels fluxos hídrics en el sistema a escala de planta pilot.**
-

2016

TREBALL FINAL DE GRAU EN
ENGINYERIA AGRÍCOLA

Autor: Youssef Iboudaaten

Tutor a l'empresa: Dr. Oriol Marfà i Pagès

Tutora: Dra. Núria Carazo

RESUM

La revolució industrial del segle XIX, el malbaratament d'energies d'origen fòssil, i l'augment exponencial de la població mundial ha donat lloc a un consum cada vegada més gran de matèries primeres no renovables; també a la desforestació, a l'esgotament d'alguns recursos naturals, a la contaminació d'aire i aigües i a un desequilibri ambiental de proporcions remarcables.

Tot això ha implicat que les administracions i organitzacions responsables de la salut pública i de la protecció ambiental, elaborin decrets, lleis, directives o plans per tal de solucionar, mitigar o evitar els esmentats problemes com és el Marc directiva d'aigua 200/60/EC, o el *Programa de prevenció i gestió de residus i recursos 2013-2020* (PRECAT20), a Catalunya per exemple.

Utilitzant el sistema CLEANLEACH® on s'aprofiten els llixiviats per a la fertirrigació del propi cultiu d'on provenen, amb recirculació tancada, i en el que una part d'aquests llixiviats és tractada en un aiguamoll artificial, la finalitat d'aquest treball és estudiar l'eficàcia de la reutilització d'un subproducte com és la grava d'enderroc procedent d'una activitat econòmica amb una vida útil limitada; amb aquest producte es preveu aprofitar les seves característiques físico-químiques per tractar uns altres residus com són els llixiviats procedents d'una activitat agrícola; es pretén tancar cicles (economia circular) i aprofitar al màxim els recursos naturals. Per a comprovar l'eficiència de l'esmentada grava com a substrat incorporada en l'aiguamoll artificial, element integrant del sistema Cleanleach®, s'ha realitzat un seguiment setmanal de la qualitat d'aigua a la entrada i a la sortida de l'aiguamoll per tal de comprovar l'efecte de les graves en l'eliminació dels fosfats solubles continguts en l'influent. Per altra banda el seguiment pretén comprovar que amb l'ús de les graves de demolició segueixen tenint lloc els mecanismes microbiològics desnitrificants, sempre amb una aportació de font carbonada rica en matèria orgànica fàcilment biodegradable. I també comprovar la disminució d'altres ions continguts en l'influent a la sortida de l'aiguamoll.

Tractant un 11,4% dels llixiviats generats mitjançant l'aiguamoll artificial, s'aconsegueix reduir el 80% la concentració en fosfats, i una taxa de desnitrificació del 89% dels nitrats continguts a l'influent, assolint una concentració mitjana a l'efluent de 43 ppm en nitrats, concentració per sota del llindar de 100 ppm que fixa el Real Decret 140/2003 del 13 de maig, pel que s'aprova el Reglament dels serveis sanitaris.

S'ha observat que durant l'experiment s'aplicava més aigua per al reg del que correspon a les necessitats del cultiu. Aquest fet aconsella millorar i optimitzar més el sistema. Per això cal modificar el disseny del sistema, primer perquè s'ajusti l'aportació d'aigua als requeriments del cultiu i també per facilitar i automatitzar la gestió del conjunt.

RESUMEN

La revolución industrial del siglo XIX, el derroche de energías de origen fósil, y el aumento exponencial de la población mundial ha dado lugar a un consumo cada vez más grande de materias primas no renovables; también a la deforestación, al agotamiento de algunos recursos naturales, a la contaminación de aire y aguas, y en un desequilibrio ambiental de proporciones remarcables.

Todo esto ha implicado que las administraciones y organizaciones responsables de la salud pública y de la protección medio ambiental, elaboren decretos, leyes, directivas o planes para solucionar, mitigar o evitar los mencionados problemas como es el Marco Directiva de Agua 200/60/EC, o el *Programa de prevención y gestión de residuos y recursos 2013-2020 (PRECAT20)* en Cataluña.

Utilizando el sistema CLEANLEACH donde se aprovechan los lixiviados para la fertirrigación del propio cultivo de donde provienen, con una recirculación cerrada, y en el que una parte de estos lixiviados es tratada con un humedal artificial, la finalidad de este trabajo es estudiar la eficacia de la reutilización de un subproducto como es la grava de escombros procedente de una actividad económica con una vida útil limitada; con este producto se prevé aprovechar las características físico-químicas para tratar otros residuos como son los lixiviados procedentes de una actividad agrícola; se persigue de cerrar ciclos (economía circular) y aprovechar al máximo los recursos naturales. Para comprobar la eficiencia de dicha grava como sustrato incorporado en el humedal artificial, elemento integrante del sistema Cleanleach®, se ha realizado un seguimiento semanal de la calidad de agua en la entrada y la salida del humedal para comprobar el efecto de las gravas en la eliminación de los fosfatos solubles contenidos en el influente. Por otro lado, comprobar que con el uso de las gravas de demolición siguen teniendo lugar los mecanismos microbiológicos desnitrificantes, siempre con una aportación de fuente carbonada rica en materia orgánica fácilmente. Y también comprobar la disminución de otros iones contenidos en el efluente.

Tratando un 11,4% de los lixiviados generados mediante el humedal artificial, se consigue reducir el 80% la concentración en fosfatos, y una tasa de desnitrificación del 89%, logrando una concentración media al efluente de 43 ppm en nitratos, una concentración por debajo del umbral de 100 ppm de nitratos que fija el Decreto 130/2003, del 13 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de saneamiento.

Se ha observado que durante el experimento se aplicaba más agua para el riego del que corresponde a las necesidades del cultivo. Este hecho aconseja mejorar y optimizar más el sistema. Por eso hay que modificar el diseño del sistema, primero para que se ajuste la aportación de agua a los requerimientos del cultivo y también para facilitar y automatizar la gestión del conjunto.

ABSTRACT

The industrial revolution of the 19th century, the low cost of fossil energies, and the exponential increase of the world population has resulted in a greater and greater consumption of non-renewable raw materials; also due to deforestation, depletion of natural resources, pollution of air and water, landscape impacts and environmental imbalance with remarkable proportions.

All this, has involved that administrations and organizations responsible of the public health and environmental protection, develop decrees, laws or directives to solve, mitigate or avoid the mentioned problems as is the framework directive of water 200/60/EC. By another hand, many countries opt for strategies and plans to reduce the environmental impacts generated by economic activities with a final residue hard to use, reuse, or treat. In Catalonia, for example, it's in force the program of prevention and management of waste and resources 2013-2020 (PRECAT20).

Using the CLEANLEACH® system where it is harnessed the leachate to the fertirrigation of the crop itself where they come from, with a closed-system recirculation and in which some of these leachate is treated with a constructed wetland, this work aims to study the efficiency of the reuse of a waste as it is the gravels rubble from an economic activity with a useful limited life as a building or any another construction; harnessing their physical-chemical characteristics to treat other wastes as the leachates from an agricultural activity; pursues close cycles (circular economy) and take advantage of natural resources. To check the efficiency of such gravel as a substrate incorporated into the constructed wetland, has been made a weekly follow-up of the quality of water in the input and output constructed wetland and to test the effect of those gravels in the elimination of phosphates soluble contained in the influent. Furthermore, monitoring carried out aims to ensure that the use of gravel demolition still taking place mechanisms that lead to a microbiological sufficient denitrification rate, always with a supply of carbon source rich in organic matter. And also to check the decline of other ions contained in the output of the wetland.

Trying to 5% of leachate generated using constructed wetland, achieved 80% reduction in phosphate concentration of the output and a denitrification rate of 89% of the nitrate contained in the leachate to the input of the wetland, reaching an average concentration in the effluent of 43 ppm nitrate concentration below the threshold of 100 ppm set by Decree 130/2003 of 13 may, which approves the regulation of sanitation.

It has been observed that during the experiment applied more water for irrigation than corresponds to the needs of the crop. This fact should improve the system in order to optimize it. This requires modifying the design of the system, first to fit the supply of water requirements of the crop and to facilitate and automate the management of the set.

INDEX

ÍNDEX DE FIGURES	7
ÍNDEX DE TAULES	9
SÍMBOLS I ACRÒNIMS	10
AGRAÏMENTS	11
1. Introducció	12
1.1. Sistema CLEANLEACH®	12
1.1.1. Aspectes tècnics del sistema	13
1.2. Tractament de lixiviats amb aiguamolls artificials	15
1.3. Les graves d'enderroc.....	17
1.3.1. Estudi de la producció dels residus de construcció i demolició.....	18
1.3.2. Gestió dels RCD	18
1.3.3. Composició dels RCD	19
1.3.4. Característiques de les graves d'enderroc	21
1.3.5. Marc legislatiu de residus de construcció i demolició	21
2. Justificació ambiental d'optar per un sistema de recirculació	22
2.1. Malbaratament de recursos hídrics	22
2.2. Efecte del nitrogen.....	23
2.2.1. Toxicitat del nitrogen.....	25
2.2.2. Tractament de nitrats.....	25

2.2.3.	Marc legislatiu	26
2.3.	Efecte del fòsfor	27
2.3.1.	Toxicitat del fòsfor	28
2.3.2.	Tractament de fosfats	29
2.3.3.	Marc legislatiu	29
2.4.	Sòlids en suspensió totals	30
3.	Objectius	31
4.	Material i Mètodes	32
4.1.	Localització i instal·lacions	32
4.1.1.	Localització	32
4.1.2.	Instal·lacions	32
4.2.	Material avaluat	33
5.	Resultats i discussions	41
5.1.	Evolució dels nitrats	41
5.2.	Evolució dels fosfats	43
5.3.	Evolució dels SST	45
5.4.	Evolució del pH	46
5.5.	Evolució de la CE	47
5.6.	Els metalls pesants en els extractes aquoses de les graves d'enderroc	48
5.7.	Evolució d'altres ions	49

6.	Material i mètodes.....	52
7.	Resultats.....	55
8.	Conclusions	60
9.	Bibliografia.....	61

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1-1. Esquema d'una instal·lació amb sistema CLEANLEACH.	14
Figura 1-2. Classificació dels aiguamolls residuals per el tractament d'aigües residuals.....	16
Figura 1-3. Generació dels residus per activitat econòmica i llar.	18
Figura 1-4. Esquema de la gestió dels RCD.	19
Figura 2-1. Diagrama de vivers amb algun sistema de reutilització o recollida a Catalunya..	22
Figura 2-2 Zones vulnerables als nitrats a Catalunya.....	24
Figura 2-3. Efecte del pH sobre la concentració de les diferents formes solubles del fòsfor.	27
Figura 4-1 Vista general de la planta pilot. A: Dipòsit de lixiviats (afluent); B: Dipòsit amb font carbonada; L1, L2, L3, L4: Diferents línies d' aiguamolls artificials.....	32
Figura 4-2. Graves d'enderroc.....	33
Figura 4-3. Granulometria de les graves d'enderroc i les graves granítiques.	34
Figura 4-4. <i>Iris pseudachorus</i> L.	34
Figura 4-5 Cultiu en contenidor.....	35
Figura 4-6. Distribució del cultiu en contenidor.....	36
Figura 4-7. Multiparàmetre "PowerMon S".	36
Figura 4-8. D'esquerra a dreta, dessecador i en dins el filtre amb la mostra, pesa per calibra la balança, i la balança analítica.	38
Figura 4-9. pH-metre	40
Figura 4-10. Conductímetre	40

Figura 5-1 Evolució temporal de contingut de nitrats a l'afluent i efluent del aiguamoll amb graves d'enderroc (L4).	42
Figura 5-2 Evolució de les concentracions de nitrats a l'entrada i sortida de l'aiguamoll artificial amb graves granítics (L3).	42
Figura 5-3. Seguiment de l'evolució dels fosfats a l'entrada i sortida de l'aiguamoll amb graves d'enderroc (L4).	43
Figura 5-4. Seguiment del percentatge d'eliminació dels fosfats a l'aiguamoll amb graves d'enderroc (L4).	44
Figura 5-5. Seguiment de l'evolució dels fosfats a l'entrada i sortida de l'aiguamoll amb graves granítics (L3).	44
Figura 5-6. Evolució dels sòlids totals en suspensió a l'entrada i sortida de l'aiguamoll artificial (L4).	45
Figura 5-7. Seguiment setmanal de pH a l'entrada i sortida de l'aiguamoll artificial (L4).	46
Figura 5-8. Evolució de la CE a l'entrada i sortida de l'aiguamoll amb la temperatura.	47
Figura 5-9. Mostres de graves d'enderroc utilitzades i netes.	48
Figura 6-1. Esquema del sistema CLEANLEACH a la planta pilot, IRTA Cabrils.	52
Figura 7-1. Seguiment setmanal de les aportacions de reg, lixiviats, i aigua consumida pels aiguamolls.	56
Figura 7-2. Balanç hídric a la planta pilot, des del 15/04/16 fins al 17/06/2016	56
Figura 7-3. Balanç de nitrats en el sistema de recirculació en una parcel·la de 186 m ²	58
Figura 7-4. Proposta esquema del sistema CLEANLEACH en una explotació agrícola real.	59

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1 . Avaluació del volum dels residus d'enderroc d'edificació, m ³ residu / m ² construït	20
Taula 2. Volum dels residus d'enderroc d'edificació per tipus de material..	20
Taula 3. Les conseqüències del fenomen d'eutrofització sobre l'ecosistema aquàtic.	28
Taula 4. Concentració dels metalls pesants en un extracte aquos d' 1:1,5 de les graves de demolició netes i graves utilitzades en l'aiguamoll comparats amb els valors límits segons el DECRET 130/2003, de 13 de maig, pel qual s'aprova el Reglament dels serveis públics de sanejament.	48
Taula 5. Analítiques de diferents ions a la entrada de L4, durant el període 19/02/2015 fins el 30/05/2016.....	50
Taula 6. Analítiques de diferents ions a la sortida de L4, durant el període 19/02/2015 fins el 30/05/2016.....	50
Taula 7. Contingut de la SN en adobs minerals.	53
Taula 8. Històric de la consigna ECp per tal d'ajustar el nivell dels lixiviats.	54
Taula 9. Històric del temps de reg i la quota llindar de radiació solar global.....	54

SÍMBOLS I ACRÒNIMS

CE: conductivitat elèctrica

CFS: cultiu fora sòl

EDAR: estació de depuració d'aigües residuals

dS/m: deciSiemens per metre, que és una unitat per mesurar la conductivitat elèctrica

EU: Unió Europea

FL: fracció de lixiviat

L3: aiguamoll artificial amb graves granítiques

L4: aiguamoll artificial amb graves d'enderroc

MES: matèria en suspensió en els lixiviats

RCD: residus de construcció i demolició

SST: sòlid en suspensió total

TDS: total de sòlids en suspensió

ZVN: zones vulnerables pel que fa al contaminació per nitrats

AGRAÏMENTS

M'agradaria donar les sinceres gràcies a totes les persones i entitats que m'han prestat ajuda en la realització d'aquest treball final de grau. Especialment als meus tutors, pel temps que han dedicat a ensenyar-me i el suport incondicional que m'han transmès en tot moment.

Vull agrair l'ajuda del meu director i tutor en empresa, Oriol Marfà i Pagès, doctor, investigador, poeta i autor de molts treballs i estudis. Sense ell aquest treball mai s'hauria realitzat. Gràcies per la seva confiança en mi i per donar-me l'oportunitat de descobrir el món de la gestió de residus, els seus grans consells i la seva total disposició a ajudar-me, compartir coneixement i com no, les ràpides correccions. T'ho agraeixo de tot cor!

A la meva tutora a l'escola Nuria Carazo, doctora i professora a l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Gràcies per la seva ajuda. Per ser una professora amb molta gana d'ensenyar i per ser una persona que transmet motivació.

A l'Anna Puerta, gràcies a ella he après el significat de donar tot per fer la feina ben feta. Gràcies per les hores que hem passat junts al laboratori i per ajudar-me a resoldre tots els dubtes que he tingut. A la Dra. Rafaela Cáceres per la seva ajuda i per compartir amb mi tot el material que he necessitat durant tota la estada al departament de GIRO, Cabriels.

També agraeixo a tots els amics i amigues, que m'han motivat i m'han prestat ajuda. No puc oblidar donar les gràcies a la meva família per donar-me sempre el suport per continuar endavant.

1. Introducció

El treball s'emmarca en el projecte CLEANLEACH[®], que és un projecte cofinançat pel programa Eco-innovation de la Unió Europea (*ECO/12/332862*) liderat pel Departament de GIRO, (Gestió Integral de Residus Orgànics) de l'IRTA, en col·laboració amb tres PYMEs del sector, i portat a terme a les instal·lacions del Centre de Cabrils del IRTA. Aquest projecte té per finalitat millorar la sostenibilitat dels vivers de producció de planta en contenidor (Marfà et al., 2016). Per assolir aquesta finalitat en el projecte s'ha posat a punt el sistema anomenat CLEANLEACH[®], per a la recuperació, higienització, filtració, i depuració dels lixiviats generats pel reg en el cultiu de plantes en contenidor.

Així, el treball conté dues parts, la primera tracta d'avaluar l'ús de graves de demolició (RCD) com a substrat d'un aiguamoll artificial que és un element bàsic del sistema CLEANLEACH[®]. Les RCD s'han emprat com a substitut de les graves de cantera granítiques que provenen d'una font no renovable. S'ha dut a terme un estudi sobre l'eficiència de les RCD pel que fa a la funció de depuració que es tracta en un aiguamoll artificial. I la segona part tracta del seguiment dels fluxos hídrics en el sistema, proposant com a corol·lari millores per optimitzar l'eficiència en l'ús de l'aigua i els fertilitzants en el sistema Cleanleach[®].

1.1. Sistema CLEANLEACH[®]

Cleanleach[®] configura un sistema quasi tancat "Closed System" amb aplicacions, entre d'altres en horts urbans (López, 2015) i cultius de plantes en contenidor, depurant una fracció de lixiviats mitjançant un aiguamoll artificial, per permetre que el sistema resti tancat el major temps possible i no calgui tractar de forma massiva en un moment determinat grans volums de lixiviats amb continguts de productes fertilitzants, sals insolubles, i ions excedentaris no desitjables per al medi i/o el cultiu del que es tracti.

El sistema CLEANLEACH[®] comprèn dos elements bàsics. El primer un filtre de sorra lent horitzontal, que ha estat desenvolupat per investigadors del IRTA en projectes precedents (Marfà, 2000) (Figura 1-1). El filtre permet recollir els lixiviats en la seva totalitat i al mateix temps retenir els possibles

propàguls de fitopatògens continguts en els lixiviats, que podrien contaminar el cultiu en ser reutilitzats per al reg del mateix cultiu (Marfà, 2000). El segon element consisteix en un aiguamoll de flux subsuperficial horitzontal (White, et al., 2006). L'aiguamoll fa la funció d'eliminació dels nitrats i part dels fosfats continguts en els lixiviats que es deriven vers l'aiguamoll i també, com és sabut, la degradació de bona part dels residus de pesticides que els lixiviats puguin contenir (Vymazal, et al., 2015), i l'aprofitament de recursos hídrics. En l'aiguamoll artificial tenen lloc processos de nitrificació i desnitrificació, de precipitació de fosfats, d'extracció de nutrients per part de les plantes macròfites que s'hi instal·len, i la degradació, com s'ha dit de molècules que formen part de pesticides habitualment emprats en el cultiu, tot gràcies a la actuació conjunta de la microbiota bacteriana, les plantes macròfites i el substrat que omple l'aiguamoll on s'instal·la de forma natural un biofilm microbià.

1.1.1. Aspectes tècnics del sistema

L'operativitat del sistema tancat ve condicionada per la qualitat de l'aigua de reg. Així que amb una aigua de reg amb CE inferior a $0,6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la recirculació total no sol presentar cap problema. Ara bé, quan la CE és superior a $1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ comencen a aparèixer limitacions en la possibilitat d'aconseguir una recirculació completa dels lixiviats (Marfà et al., 2000). En aquest cas, és imprescindible buscar alternatives per millorar l'aigua de reg per poder assolir una elevada taxa de recirculació, per exemple amb la barreja d'aigua de reg amb aigua de pluja, o bé el tractar part dels lixiviats de forma continua per tal d'eliminar certs continguts excedentaris i no desitjables per a les plantes (clorurs, sulfats, calci sodi, magnesi,...) emprant diferents mètodes físics, químics o biològics. Al mateix temps cal dur a terme la desinfecció dels lixiviats per eliminar-ne propàguls de fitopatògens mitjançant mètodes de naturalesa física, química o biològica, com els que es descriuen tot seguit:

- Tractament dels lixiviats per mètodes físics: Per exemple la desinfecció tèrmica, l'ozonització, la radiació ultraviolada o la ultrafiltració mitjançant osmosi inversa.
- Tractament químics: entre d'altres poden esmentar-se la iodació, l'oxidació amb peròxid d'hidrogen o la cloració, entre altres.
- Desinfecció biològica: principalment s'aconsegueix gràcies a una filtració lenta en llit d'arena vertical, aquest sistema que és eficaç per eliminar certs fitopatògens requereix utilitzar un espai addicional que sol ser costós per a l'usuari. El nou sistema de filtració lenta és, de fet, un filtre d'arena lent horitzontal disposat a la base de les zones de cultiu; els

lixiviats flueixen lentament i en sentit horitzontal a través del filtre i es recullen per un extrem en un dipòsit (Marfà et al., 2016) (figura1-1). Aquest sistema ha mostrat la seva eficàcia per eliminar gran part de propàguls i patògens infecciosos.

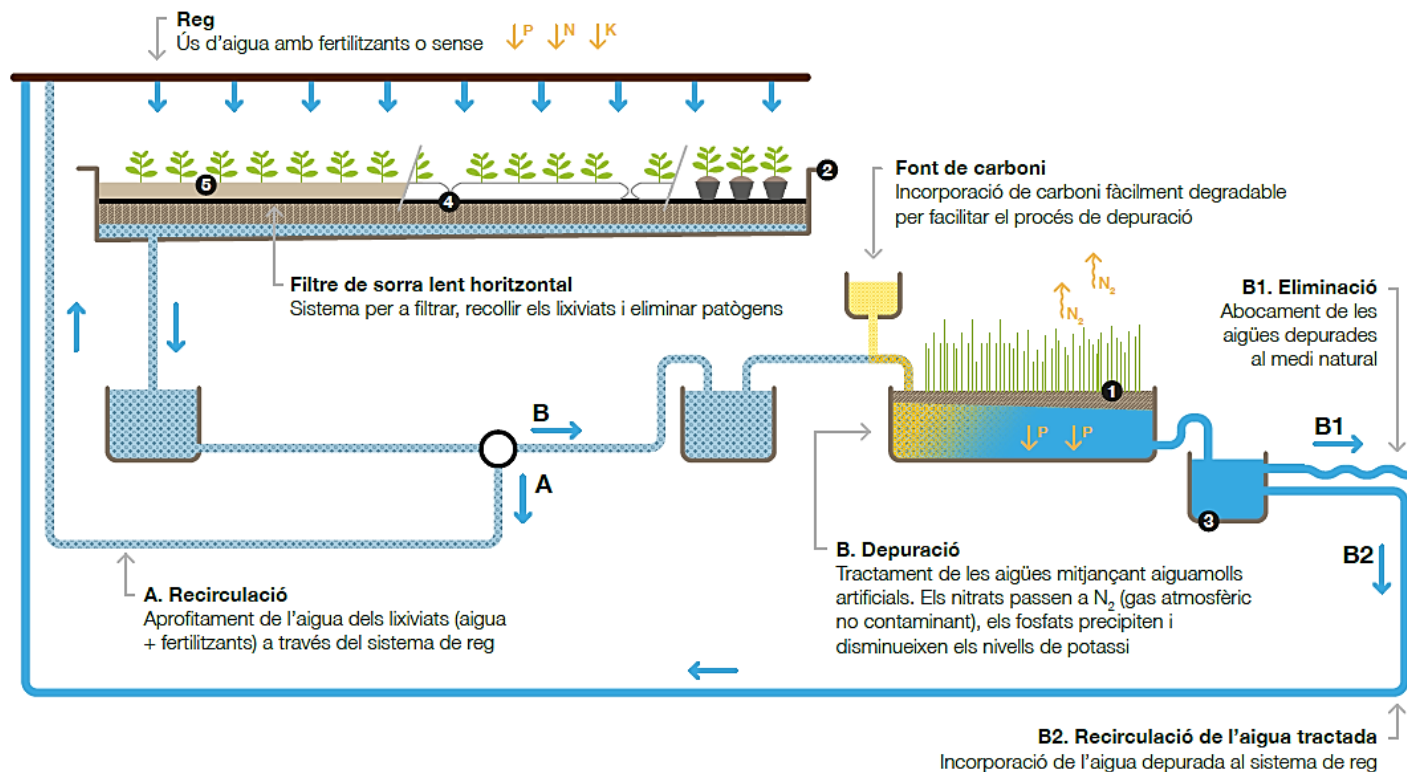


Figura 1-1. Esquema d'una instal·lació amb sistema CLEANLEACH. Font: Marfà et al., 2016

El sistema de tractament de llixiviats, és imprescindible en qualsevol sistema tancat. Per tal que no augmentin progressivament certs ions no desitjables per a les plantes a partir de certes concentracions, cal eliminar periòdicament una fracció d'aquests llixiviats. Tot i que el filtre lent horitzontal d'arena estableix una barrera que fa que l'efluent no contingui propàguls de fitopatògens retenint la biomassa fúngica patogènica, és necessari eliminar de forma sistemàtica ions excedentaris continguts en l'aigua de reg. Aquesta funció la duu a terme en el sistema Cleanleach®, mitjançant un aiguamoll artificial, on s'eliminen els continguts de nitrats i de fosfats que superen les concentracions tolerades per poder abocar els esmentats llixiviats al medi. L'abocament de la fracció de llixiviats tractats amb l'aiguamoll artificial en no contenir nitrats i fosfats ja és possible sense transgredir normatives vigents. Al mateix temps l'efluent que discorre per l'aiguamoll disminueix el seu contingut d'altres ions excedentaris (sulfats, calci, magnesi, potassi,...) mercès a l'extracció que fan les plantes macròfites del propi aiguamoll (Reddy et al., 1985).

1.2. Tractament de lixiviats amb aiguamolls artificials

Els primers experiments sobre l'ús d'aiguamolls artificials per al tractament de les aigües residuals es van dur a terme a principis de 1950 pel Dr. Seidel Käthe a Alemanya. Els primers sistemes a gran escala van ser posats en funcionament durant la dècada de 1960 i des de llavors els sistemes d'aiguamolls construïts o artificials s'han estès per tot el món.(Vymazal 2005).

L'aiguamoll artificial és un element construït, amb capacitat de depurar aigües amb certs continguts no desitjables i/o contaminants del medi (Best, 1985; Reed i Bastian, 1987). L'aiguamoll té quatre principals funcions que el fa potencialment atractiu per al tractament de lixiviats (Chan et al, 1989): dispersió de les aigües superficials sobre una gran àrea; adsorció i fixació física de contaminants sobre la superfície del substrat als aiguamolls i en la matèria orgànica; l'absorció i l'ús metabòlic per part de les plantes macròfites del propi aiguamoll; la transformació i utilització dels elements per part dels microorganismes.

El disseny de l'aiguamoll artificial depèn de tres paràmetres importants, hidrològic (flux d'aigua superficial i flux d'aigua subsuperficial), la forma de creixement de les plantes macròfites (emergent, submergit, flotant), i la trajectòria del flux (horitzontal o vertical) (Figura 1-2) (Vymazal, 2011; Yafate et al., 2010).

1. Free Floating macrophyte-based System (Sistema de macròfites flotants):

És un sistema amb espècies de plantes flotants (*Eichornia crassipes*, i *Lemna sp.*) amb aquest sistema s'aconsegueix la remoció de nutrients. S'ha comprovat la seva funcionalitat en els tròpics i subtròpics per (Brix, 1993)

2. Submerged macrophyte-base Systems (Sistema de macròfites submergides):

És un sistema on les plantes queden submergides per l'aigua residual (Espècies: *Egeria densa*, *Elodea canadensis*). S'utilitza com un pas de refinat final després dels tractaments primari i secundari de plantes de tractament d'aigües residuals (EDAR's) perquè les plantes només poden créixer en medis ben oxigenats, per això aquest sistema no pot ser utilitzat en tractaments d'aigües riques amb matèria orgànica biodegradable (Brix 1993; Gumbricht, 1993).

3. Emergent macrophyte-based System (Sistema de macròfites emergents):

Un sistema amb les plantes emergides (Especies: *Typha latifolia*, *Iris pseudachorus*, *Phragmites australis*).

En aquest sistema hi han dos subtipus caracteritzats pel mode de flux de l'influent:

- Horizontal subsurface flow (HSF), sistema de flux subsuperficial horitzontal.
- Vertical non saturated flow. Sistema amb flux vertical.

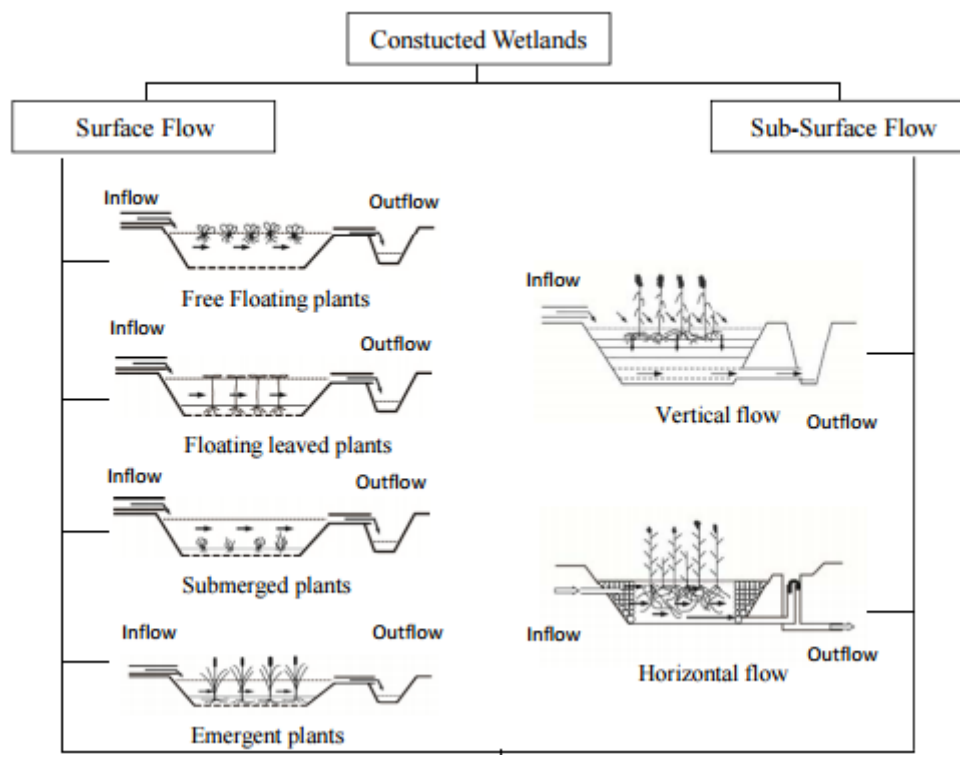


Figura 1-2. Classificació dels aiguamolls residuals per el tractament d'aigües residuals. Font: (Vymazal, 2007).

Les plantes macròfites tenen diverses propietats intrínseques que les converteixen en un component indispensable dels aiguamolls construïts. Les funcions més importants dels macròfites en relació amb el tractament d'aigües residuals són els efectes físics provocats per la presència de les plantes. (Brix, 1993). Les macròfites estableixen la superfície dels llits, ofereixen bones condicions per a la filtració física, eviten que els sistemes de flux vertical s'obturin, aïllen contra les gelades durant l'hivern, i proporcionen una gran superfície per al creixement microbià. El metabolisme dels macròfites afecta els processos de tractament en diferents aspectes depenent del disseny de l'aiguamoll construït. L'absorció dels nutrients només és d'importància quantitativa en els sistemes de baixa càrrega (sistemes de flux superficial).

Les espècies que s'utilitzen en la fitodepuració, es caracteritzen per ser típicament helòfits degut a que els sistemes més emprats són el de flux superficial i el flux sub-superficial. En aquests sistemes les principals plantes són emergents com per exemple les tifes, *Typha* spp., la canyota, *Phragmites australis*, i higròfits com els joncs (*Scirpus* spp.) (Li et al. 2015).

1.3. Les graves d'enderroc

En el sistema CLEANLEACH®, s'ha provat d'eliminar els fosfats amb un prefiltre previ a l'aiguamoll, aconseguint una eliminació química de fosfats amb la addició de sulfat ferrós. No obstant, la filosofia del sistema és d'emprar sempre que sigui possible productes o materials procedents de fonts renovables. Per aquest motiu, s'ha pensat en la possible eficàcia de l'ús de graves de demolició com a substrat en l'aiguamoll artificial, en lloc de graves inerts granítics, que són les més habitualment utilitzades, aprofitant les propietats de les graves procedents de la demolició, que presenten una reacció alcalina. Més endavant, s'explicarà la importància del pH en la insolubilització de les formes iòniques del fòsfor en un medi aquós.

És molt habitual utilitzar les graves granítics com a substrat en aiguamolls artificials, que són un recurs natural no renovable procedent de canteres: Aquest material, primer ha de ser triturat i tamisat perquè es pugui obtenir una granulometria adequada. Llavors, a més de ser un producte no renovable, l'ús d'aquest tipus de graves implica una remarcable despesa d'energia tant per tractar-lo, com ja s'ha comentat, com per transportar-lo fins a l'aiguamoll artificial.

Perquè el projecte sigui més sostenible s'ha pensat en l'ús d'un subproducte com a substrat de l'aiguamoll. La idoneïtat del producte substitutiu del convencional haurà de ser contrastada per tal de provar també l'eficàcia de la desnitrificació bacteriana del sistema respecte al substrat convencional emprant amb graves granítics com a substrat.

Els RCD tenen una ampla gama d'aplicacions. Les més habituals són: l'ús com a material per a terraplens, rampes, camins, construcció de drenatge, etc... (Butera et al., 2014). També poden ser utilitzades en la fabricació de formigó per a elements que no hagin que suportar grans càrregues.

1.3.1. Estudi de la producció dels residus de construcció i demolició

A la Unió Europea, l'any 2012 s'ha generat un total de 2.515 milions de tones de residus, de les quals la tercera part són procedents de la de construcció o enderroc d'edificis i altres infraestructures (Figura 1-3).

Per tant, a la EU es produeixen 859.5 milions de tones de residus de construcció i demolició (RCD), mentre que a Espanya se'n produeixen 44.9 milions de tones que representen un 30.1% dels residus totals produïts l'any 2011 (Bernardo et al., 2016), però a diferència d'altres països europeus on la ràtio de reciclatge és molt elevada, a Espanya l'any 2008 només es van reciclar el 13.6% (de Guzmán et al., 2012).

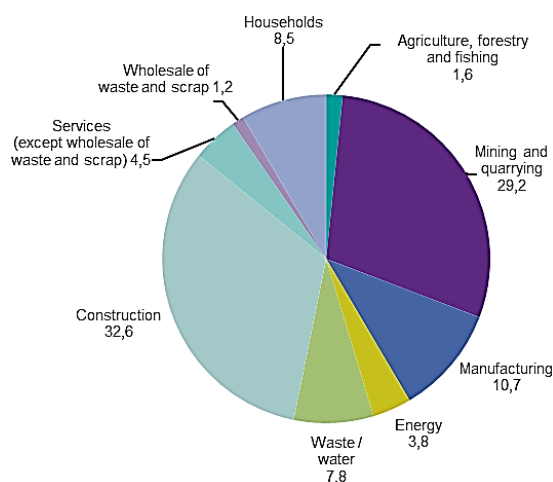


Figura 1-3. Generació dels residus per activitat econòmica i llar.

Font: Eurostat 2012.

És cert que a partir de la crisi immobiliària espanyola, la producció dels RCD ha disminuït; no obstant, el percentatge de material d'enderroc que va a parar a abocadors segueix sent elevat. Per disminuir aquest problema està posat en marxa el Pla Estatal Marc de Gestió de Residus (PEMAR) 2016-2022.

1.3.2. Gestió dels RCD

En una planta de reciclatge que rep els residus exempts de components perillosos, els RCD classificats a l'obra es tracten mitjançant una garbellada manual. Això va seguit d'una separació manual per eliminar els plàstics, fusta, paper i altres residus no metàl·lics (Figura 1-4). A continuació, la "barreja dels RCD" es sotmet a un picat i a una separació magnètica (per eliminar materials fèrrics) abans de ser passada per un separador d'aire que elimina la fracció lleugera (petites peces de paper, plàstics que s'escapen de la primera classificació), i finalment és classificada en funció de la granulometria del producte final.

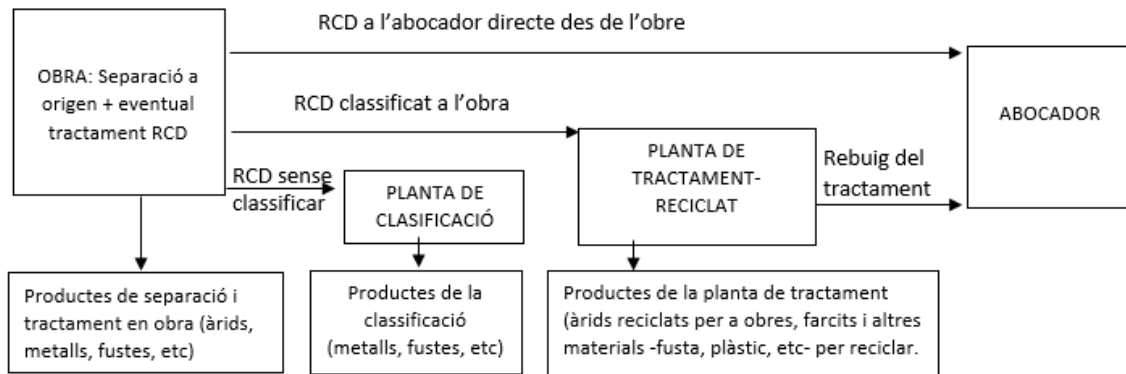


Figura 1-4. Esquema de la gestió dels RCD. Font: MAGRAMA, 2016

1.3.3. Composició dels RCD

En general la composició dels residus de construcció i demolició ve determinada pel seu origen. Es pot classificar aquest origen en tres apartats.

a) Edificis industrials:

- Murs de contenció i fonaments superficials i aïllats, de formigó armat.
- Estructura de pilars i de sostres reticulars, de formigó armat.
- Parets de façana convencionals, de dos fulls, d'obra de fàbrica vista o revestida.
- Compartimentació d'obra de fàbrica ceràmica.
- Portes exteriors i finestres d'alumini, i portes interiors de fusta.
- Coberta plana convencional.

b) Edificis d'habitatges:

- Fonaments de paredat i obra de fàbrica.
- Estructura i façana de parets d'obra de fàbrica ceràmica.
- Compartimentació d'obra de fàbrica ceràmica.
- Portes i finestres de fusta.
- Coberta plana, a la catalana.

c) Vials:

- Barreja bituminosa a la capa de rodament i base.
- Totú a la capa de sub-base.

Es pot constatar que els edificis d'habitatges amb estructura de formigó i les naus industrials, estan constituïts bàsicament per obra fàbrica y formigons i morters. Mentre que els edificis d'habitatges d'obra de fàbrica estan compostats per obra de fàbrica de tipus ceràmic en gairebé un 70% (CAATEEB, 2007).

Taula 1 . Avaluació del volum dels residus d'enderroc d'edificació, m³ residu / m² construït .(CAATEEB,

Materials	Edifici d'habitatges d'obra de fàbrica		Nau industrial d'obra de fàbrica		Edifici d'habitatges d'estructura de formigó	
	V.real	V.aparent	V.real	V.aparent	V.real	V.aparent
Obra fàbrica	0,301	0,512	0,31	0,527	0,225	0,3825
Formigons i morters	0,0365	0,062	0,15	0,255	0,309	0,5253
petris	0,048	0,082	0,014	0,025	0,0204	0,0347
Metalls	0,0005	0,0009	0,001	0,0017	0,0021	0,0036
Fustes	0,039	0,0663	0,038	0,0644	0,0028	0,0047
Vidre	0,0002	0,0004	0,0003	0,0005	0,0006	0,001
Plàstics	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004	0,0004	0,0007
Betums	-	-	-	-	0,0007	0,0012
Altres	0,0046	0,008	0,0006	0,001	0,009	0,0153
Total	0,43	0,732	0,514	0,874	0,57	0,969

De la taula 2, es pot observar que la major part dels residus d'enderroc de procedència vial, són els granulats i betums.

Taula 2. Volum dels residus d'enderroc d'edificació per tipus de material. (CAATEEB, 2007).

Avaluació del volum dels residus d'enderroc vials m3 residu / m2 construït		
Material	Volum real	Volum aparent
Granulats	0,25	0,30
Betums	0,15	0,25
Altres	0,001	0,002
TOTAL	0,401	0,552

1.3.4. Característiques de les graves d'enderroc

En aquest treball s'aprofiten dues característiques de la graves d'enderroc. La primera és la seva porositat lo qual les converteix en materials aptes per ser emprats com a substrat de plantes hidrofíliques emprades en els 'aiguamolls artificials. La segona és la seva reacció alcalina i per tant la possibilitat que donin lloc a un medi aquós alcalí que ajudaria a precipitar els fosfats.

Una de les característiques físiques que ha de tenir la grava perquè hi hagi un bon desenvolupament radicular de les plantes és la porositat, que s'ha de ser del voltant del 50% (Figura 3-1).

La integrants químics majoritaris de les graves de demolició són: sílice (SiO_2), alumina (Al_2O_3), òxid de calci (CaCO) i òxid de ferro (Fe_2O_3). (Gomes et al., 2015).

1.3.5. Marc legislatiu de residus de construcció i demolició

La legislació vigent estatal, més destacada que afecta als residus de construcció i demolició s'inclou a les següents lleis:

- Real Decret 105/2008, d'1 de febrer, pel qual es regula la producció i gestió dels residus de construcció i demolició.
- Llei 22/2011, de 28 de juliol, de residus i sols contaminats. En la qual s'estableix la preparació per a la reutilització, reciclat i valorització de residus de construcció i demolició. (Segona secció, del capítol II).

Les lleis autonòmiques que regulen l'ús dels residus de construcció i demolició:

- Llei 8/2008, de 10 de juliol, de finançament de les infraestructures de gestió de residus i dels cànons sobre la disposició del rebuig dels residus. Modificada per la Llei 7/2011, de 27 de juliol, de mesures fiscals i financeres.
- Decret 89/2010, de 29 de juny, pel qual s'aprova el Programa de gestió de residus de construcció de Catalunya (PROGROC), es regula la producció i gestió dels residus de la construcció i demolició, i el cànon sobre la deposició controlada de residus.

2. Justificació ambiental d'optar per un sistema de recirculació

2.1. Malbaratament de recursos hídrics

A finals del segle XX, gràcies als avenços tecnològics, la horticultura intensiva ha experimentat un gran desenvolupament, donant lloc a majors rendiments. En la major part de viviers es treballa amb sistemes oberts., Això vol dir que la solució nutritiva (SN) excedentària o lixiviat, s'aboca directament al sòl subjacent i el contamina, ja que la dinàmica d'absorció de fertilitzants per part de les plantes difícilment coincideix amb la composició de la SN emprada; i, ja que si prenem l'exemple de la conca mediterrània, l'aigua de reg disponible conté, en la majoria de casos, concentracions excessives de clorurs, sodi, sulfats, calci, entre altres. Per aquest motiu, és necessari aplicar una fracció de lixiviat (FL) o sobredosi d'aigua de reg aplicada a les plantes que oscil·la entre el 20% i el 50% (Lorenzo et al., 1993; Martínez et al., 1993). En casos extrems s'arriba a aplicar una FL de fins al 70%, per exemple quan la conductivitat elèctrica de l'aigua oscil·la entre el 3 i 5 dS/m.

Per exemple, a Catalunya una enquesta feta per investigadors de l'IRTA ha mostrat que el 81% de viviers de les demarcacions de Girona i Barcelona on hi ha la major superfície de viviers, treballen amb sistemes oberts, i que només el 19% disposen d'algun sistema que permeti recollir els lixiviats i/o algun sistema de reutilització d'aquests lixiviats (Figura 1-3) (Marfà et al., 2006).

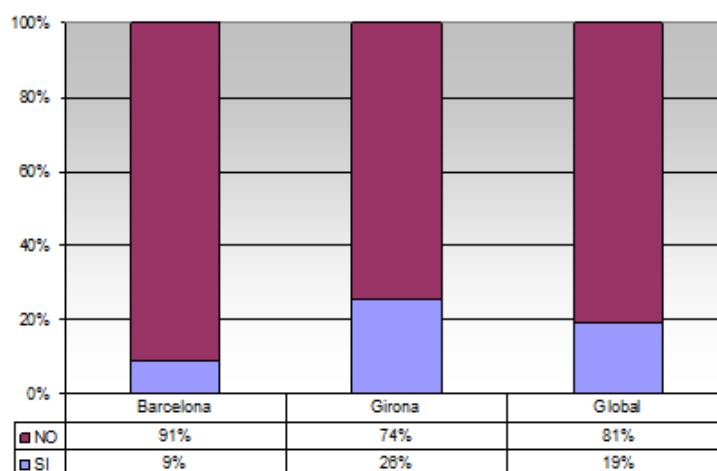


Figura 2-1. Diagrama de viviers amb algun sistema de reutilització o recollida a Catalunya. Font: (Marfà et al., 2012).

2.2. Efecte del nitrogen

En condicions naturals, el nitrogen del sòl prové de diferents processos de fixació del nitrogen molecular atmosfèric. majoritàriament d'origen biològic, mitjançant organismes vius que incorporen nitrogen en les seves estructures integrant-se en diversos compostos, o per oxidació passant a formes d'òxids per acció de les descarregues elèctriques, aquests compostos son traslladats al sòl per la pluja i dipositats en ell com a àcid nitrós o nítric.

Però, en els cultius en contenidor, a més de l'aportació biològica dels nitrats, s'afegeix una altra part de nitrats de procedència inorgànica (fertilitzants inorgànics) per satisfer les necessitats del cultiu i assegurar-ne un bon creixement. Tenint en compte que en un cultiu en contenidor sempre s'aplica una proporció de reg excedentari o fracció de rentat que servirà per rentar el substrat de sals, evitant l'acumulació d'aquestes. Per això, sempre sol haver lixiviats rics en nitrats tot i que les concentracions en la SN siguin prou ajustades a les necessitats del cultiu.

El procés de desnitrificació dintre de l'aiguamoll artificial ve influenciat pel pH del medi, nivell d'humitat, concentració d'oxigen, i de matèria orgànica fàcilment disponible per als microorganismes.

La desnitrificació en els aiguamolls amb flux superficial horitzontal, consisteix en la reducció del nitrat mitjançant els bacteris heteròtrofs, que utilitzen el NO_3^- com a receptor d'electrons en condicions anòxiques i una substància orgànica com a donant d'electrons (glucosa, acetat de sodi, metanol, midó) (Narváez, et al., 2011). La desnitrificació heteròtrofa és considerada la via més eficient comparada amb la via autòtrofa, sempre i quan hi hagi una font lliurement disponible de carboni orgànic; llavors els NO_3^- es converteixen en nitrogen gas seguint la via següent (Fernández-Nava et al., 2008; Park et al., 2008):



- **Zones vulnerables a la contaminació per nitrats (ZVN)**

L'horticultura intensiva convencional contribueix a la contaminació del medi ambient (Lillywhite, 2014) sigui per l'efecte de l'ús de fertilitzants, pesticides, fumigants, com per l'abocament de

plàstics i de lixiviats (rics en nitrats i fosfats). D'aquí es deriva que freqüentment, les zones tradicionals on hi ha més activitat hortícola, coincideixen amb les zones vulnerables als nitrats (ZVN).

A Catalunya per exemple, les zones amb major concentració de vivers, (Alt Empordà, Baix Empordà, Gironès, Maresme, Baix Llobregat, Baix Camp, Tarragonès, Baix Ebre, Montsià, Pla d'Urgell i Segrià) són en ZVN establertes en els successius corpus legislatius (Decret 283/1998, 476/2004, de 28 de desembre, Decret 476/20014, Acord GOV/128/2009 i Acord GOV/13/2015) (Figura 2-3). La situació és similar a nivell estatal (per exemple moltes àrees del País Valencià i altres del litoral mediterrani peninsular, com ara, Chipiona, Cádiz, Almería, Huelva...) i a nivell europeu (Angers a França, Holanda, Pistoia, Sicília i Nàpols a Itàlia, àmplies àrees a Dinamarca i a Alemanya); la directiva 91/676/EEC, identifica les zones on hi ha activitat hortícola intensiva que també solen coincidir amb ZVN (Figura 2-2).

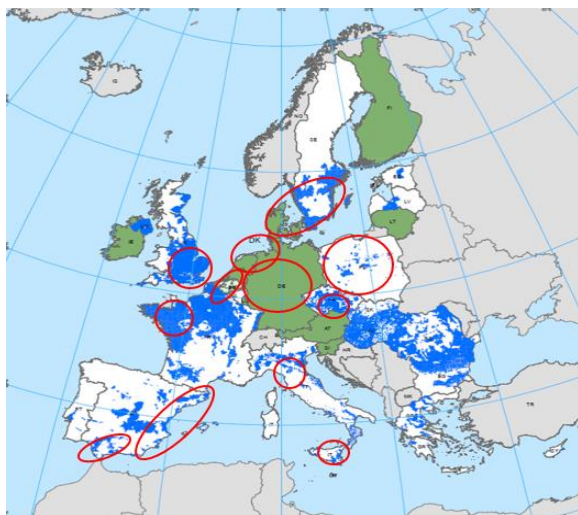


Figura 2-2 Distribució de les ZVN arreu Europa segons la Directiva 91/676/EEC, 2012. Cercles vermells: zones amb activitat hortícola important; en blau: territori designat com a ZVN; en verd: Estats membres que apliquen programes d'acció sobre tot el territori nacional d'acord amb l'article. 3 de la directiva de nitrats; en gris: països no membres de l'UE.

Font: EEA, (agost 2016).

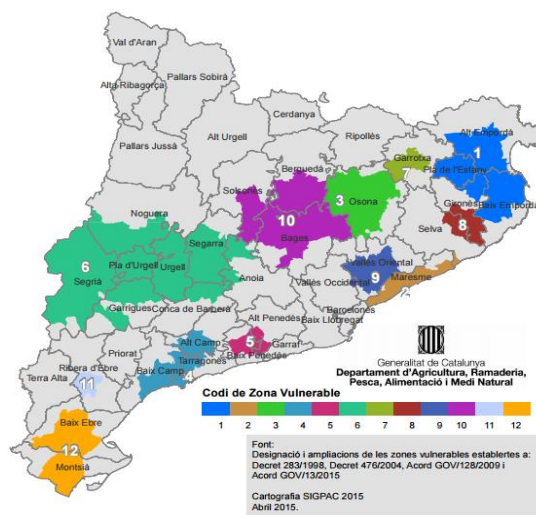


Figura 2-2 Zones vulnerables als nitrats a Catalunya.

Font: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, (Agost 2016).

2.2.1. Toxicitat del nitrogen

La ingestió directa d'aigües contaminades per nitrit i / o nitrat pot provocar metahemoglobinèmia en els éssers humans, sent els nens menors de quatre mesos els més susceptibles a aquest tipus de malaltia coneguda com "*baby blue syndrome*". Aquesta patologia es caracteritza per la pèrdua de la capacitat de transport d'oxigen a la sang a causa de que l'hemoglobina es troba en la seva forma oxidada metahemoglobina, la qual té baixa afinitat per a l'oxigen. Més de 3000 casos de metahemoglobinèmia han estat reportats al voltant del món des de 1945, els quals sempre han estat associats amb el consum d'aigua provinent de pous amb nivells de concentració de nitrat superior a 10 mg N/L (Wolfe et al., 2002).

El consum de nitrit i nitrat pot afavorir la formació de compostos nitrogenats com les nitrosamines a l'interior del cos humà. Aquests compostos químics resultants de la reacció entre una amina secundària i el nitrit en un medi àcid, generalment a l'estómac, tenen un alt potencial cancerigen i mutagènic (Fewtrell, 2004). El nitrit i el nitrat estan relacionats amb casos de deformacions en nadons, infeccions en el tracte respiratori i malalties coronàries, entre d'altres (Cerhan et al., 2001; Gupta et al., 2000).

2.2.2. Tractament de nitrats

2.2.2.1. Desnitrificació heteròtrofa

La desnitrificació heteròtrofa és un procés biològic de reducció del nitrat present a las aigües residuals a nitrogen molecular en condicions anòxiques per l'acció de bacteris heteròtrofs (*Pseudomonas*, *Paracoccus*, *Alcaligenes*, *Thiobacillus*, *Bacillus*), que utilitzen un substrat orgànic com a font de carbó i energia (Ahn, 2006).

Una de les reaccions tipus que implica una desnitrificació heteròtrofa podria ser la de l'oxidació del àcid acètic:



2.2.2.2. Desnitrificació autòtrofa

Algunes bactèries desnitrificants són quimiolitotàutòtrofes i que poden oxidar compostos inorgànics de sofre com el sulfhídric (H_2S), sofre elemental (S_0), tiosulfat ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) o sulfit (SO_3^{2-}) anaeròbiament a expenses de la reducció del nitrat.⁷ Entre elles, autòtrofes obligades que creixen a pHs neutres com: *Thiobacillus denitrificans* i *Thiomicrospira denitrificans* (Schedel, et al., 1980) que poden portar a terme la sulfoxidació en condicions aeròbiques o anòxiques. En aquest procés no cal afegir cap matèria orgànica, pel que fa una disminució en costos, ja que la matèria orgànica sol ser més cara, però no sempre és sostenible.

2.2.3. Marc legislatiu

La directiva de nitrats (91/676/EEC) és una part integral de la Directiva marc de l'aigua 2000/60/EC (secció 3.1.3). El principal objectiu de la directiva de nitrats és protegir la qualitat de l'aigua mitjançant la prevenció de la contaminació amb nitrats de les aigües superficials i subsuperficials amb productes d'origen agrícola, promovent bones practiques d'aplicació de fertilitzants. Segons aquesta directiva els estats membres de la UE han de: (1) identificar les aigües afectades per contaminació, (2) designar les ZVN, (3) elaborar codis de les bones pràctiques de l'ús de fertilitzants, (4) establir programes d'acció, (5) elaborar i executar programes de control, mostreig i seguiment de la qualitat de les aigües. La transposició al corpus legislatiu espanyol de la Directiva 91/676/EEC queda patent al Real Decreto 261/1996 del 16 de febrer, sobre protecció de les aigües contra la contaminació produïda per nitrats procedent de fonts agràries.

Per altre banda, el Real Decret 140/2003, del 7 de febrer, que estableix els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua per consum humà, fixa el lílndar màxim de 50 mg/L en nitrats, mentre que el Decret 130/2003, del 13 de maig, pel que s'aprova el Reglament dels serveis públics de sanejament, fixa el valor de 100 mg/L com a lílndar màxim per l'abocament de llixiviats tractats.

2.3. Efecte del fòsfor

En la natura el fòsfor a diferència del nitrogen que com ja s'ha vist pot incorporar-se als sòls mitjançant la fixació bioquímica per microorganismes, no es transforma mitjançant l'activitat microbiana de forma significativa.

Les formes de fòsfor més comunes en aigües residuals o lixiviats són els ortofosfats (PO_4^{3-}), polifosfats (d'àcids fosfòric) i compostos orgànics rics en fosfats. Aquestes dues ultimes formes s'hidrolitzen en medis aquosos i passen a la forma soluble orto (Hammer, 1986) i per tant es pot dir que les formes ortofosfats son majoritàries en aigües residuals (Horan, 1990; McElowney et al., 1993).

Els fosfats continguts en els lixiviats dels cultius en contenidor procedeixen de la fertilització amb fertilitzants sintètics (fosfat monopotàssic, fosfat monoamònic, i altres fosfats solubles) que es du a terme durant tot el cicle del cultiu, la concentració de fòsfor soluble en la SN depèn de l'espècie del cultiu i altres paràmetres de fertilització, però habitualment és de $[0,3 - 1,2]$ mmol de PO_4^{3-} soluble, A posteriori una part d'aquest lixiviats són desviats a l'aiguamoll artificial on l'ambient alcalí contribueix decisivament a que es precipiti el ió fosfat, degut a que la concentració de l'ió HPO_4^{2-} (forma divalent) a $\text{pH} > 8$ és superior a la concentració del ió H_2PO_4^- (forma monovalent) la més soluble (Hinsinger, 2001) (Figura 2-4).

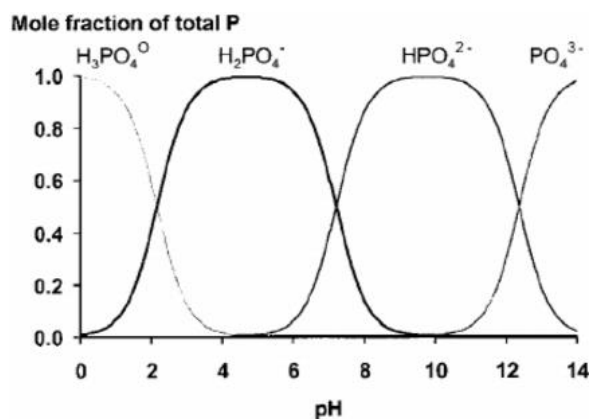
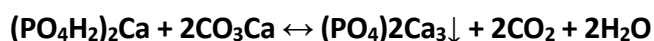


Figura 2-3. Efecte del pH sobre la concentració de les diferents formes solubles del fòsfor.

2.3.1. Toxicitat del fòsfor

En el cas de no tractar les aigües residuals, sol haver-hi un fenomen d'eutrofització o enriquiment excessiu dels ecosistemes aquàtics (llacs, pantans, zones litorals, canals, etc..) amb nutrients especialment amb nitrogen i/o fòsfor que condueix a la proliferació d'algues i a processos anòxics (Carpenter, 2005). El fenomen d'eutrofització pot causar efectes ecològics i toxicològics greus sobre el medi aquàtic i els organismes que hi habiten (taula 3).

Pel que fa al consum d'aigua o aliments, la presència continguts de toxines algals pot donar lloc a trastorns fisiològics com a nàusees, vòmits, diarrees, gastroenteritis, pneumònia, dolors musculars entre d'altres símptomes d'intoxicació (Busse et al., 2006). A més la eutrofització de les aigües afavoreix el desenvolupament d'organismes transmissors o causants de malalties infeccioses com la malària, l'encefalitis i el còlera.

Taula 3. Les conseqüències del fenomen d'eutrofització sobre l'ecosistema aquàtic. (Camargo, 2006)

Reducció de la Disponibilitat de llum degut a la disminució de la Transparència en la columna d'aigua.
Reducció de la disponibilitat de llum degut a la disminució de la transparència en la columna d'aigua.
Increment de la quantitat de matèria orgànica que sedimenta.
Reducció de la Concentració d'oxigen en capes Inferiors de la columna d'aigua.
Producció i acumulació de compostos reduïts com el sulfur d'hidrogen (H ₂ S) en aigües profundes i sediments.
Disponibilitat de fòsfor per la degradació de la matèria orgànica acumulada als sediments.
Increment de la biomassa i activitat del fitoplàncton. Canvis en la composició del fitoplàncton que poden promoure el desenvolupament d'espècies tòxiques.
Reducció de la biodiversitat i de la grandària de les poblacions de coral marí.
Alteracions de la cadena alimentària que afecten tots els nivells tròfics.

2.3.2. Tractament de fosfats

2.3.2.1. Tractament químic

A les estacions de depuració d'aigües residuals (EDAR) s'està aplicant diferents mètodes per tal de disminuir la concentració en fòsfor. Entre elles: la precipitació química amb sals metàl·liques com el sulfat d'alumini, sulfat de ferro i clorur ferrós.

2.3.2.2. Tractament biològic

La desfosfatació biològica es divideix en dues fases:

La fase anaeròbica: implica la actuació de bacteris capaços d'absorbir fosfats de l'aigua amb quantitats superiors a les necessàries pel seu creixement (Tarayre et al. 2016). Aquests bacteris entre altres són del gènere *Actinobacter* on les cèl·lules utilitzen la seva energia acumulada per metabolitzar els àcids volàtils, omplint així el seu estoc de substrat carbonós i buidant a l'aigua el seu estoc de polifosfats en forma de fosfats.

Fase anaeròbia: després de la fase anaeròbica, la cèl·lula del bacteri assimila els fosfats presents a l'aigua. Els fosfats inorgànics són convertits en polifosfats d'alt contingut energètic que s'acumula en la cèl·lula. D'aquesta manera s'aconsegueix la disminució de fosfats en l'aigua tractada.

2.3.3. Marc legislatiu

L'ús de fosfats, queda regulat en dues importants directives, la directiva 2014/80/UE de la comissió, de 20 de juny de 2014 que modifica la directiva 2006/118/CE del parlament Europeu i del Consell, relativa a la protecció de les aigües subterrànies contra la contaminació i el deteriori, i la segona, la Directiva marc del aigua (2000/60/EC, WFD) del Parlament Europeu i del consell, del 23 d'octubre de 2000 per la que s'estableix un marc comunitari d'actuació en l'àmbit de la política d'aigües, per protegir l'aigua superficial i subsuperficial arreu del territori de l'UE. Nombroses directives de l'aigua són part d'aquesta Directiva Marc per exemple: la Directiva de nitrats, la Directiva d'aigües subsuperficials, i altres. Els objectius d'aquesta Directiva Marc són arribar a mantenir un bon estat de totes les aigües superficial i subsuperficials al 2015, prevenir el deteriorament i assegurar la conservació de les aigües d'alta qualitat.

Per abocar aigua tractada, el Decret Reial 130/2003, del 13 de maig, pel que s'aprova el Reglament dels serveis públics de sanejament, fixa el límit de 50 mg/L de fòsfor total.

2.4. Sòlids en suspensió totals

Els sòlids en suspensió (SST) són les partícules de grandària variable que es mantenen en suspensió i no estan dissolts en l'aigua. És un paràmetre utilitzat com a indicador de la qualitat de l'aigua i també se'l denomina "matèria en suspensió" (MES).

Els SST, es consideren com la quantitat de residus retinguts per un filtre de vidre amb mida de porus de 0,45 micres i fa referència al material que es manté en suspensió en els corrents d'aigua superficial i/o residual (CAN, 2005).

La fórmula per determinar els Sòlid en Suspensió Totals, és:

$$\frac{\text{mg SST}}{\text{L}} = \frac{(A - B) \times 100}{\text{Volum mostra (L)}}$$

mg SST: Sòlids suspesos totals em mg/L.

A: pes de filtre en mg + residu sec en mg.

B: pes del filtre en mg.

3. Objectius

Donada aquesta situació prèvia, es planteja quines estratègies i tecnologies són aplicables per reduir l'impacte ambiental dels lixiviats generats per una agricultura intensiva de cultius fora sòl i com es pot assolir una agricultura més respectuosa amb el medi ambient. Assolir l'ús racional dels recursos naturals porta a proposar els següents objectius:

- Eliminació dels fosfats en el propi aiguamoll emprant graves de demolició com a substrat. Comprovar el manteniment de la reacció alcalina deguda a la pròpia naturalesa/composició de les graves d'enderroc.
- Seguiment i avaluació del funcionament en planta pilot del sistema CLEANLEACH® en la seva totalitat, filtre de sorra, recirculació dels lixiviats, depuració d'una fracció de lixiviats externalitzada de forma sistemàtica. Propostes de millora de l'esquema avaluat. Cas d'implantació en una explotació viverística comercial.

4. Material i Mètodes

4.1. Localització i instal·lacions

4.1.1. Localització

La planta pilot d'aiguamolls artificials, s'ubica en la finca Quintana del Mig del Centre del IRTA (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries), Cabrils, Barcelona. Amb coordenades (41° 30' 59" N, 0° 37' 56.39" E).

4.1.2. Instal·lacions

La planta pilot disposa d'un capçal de fertirrigació amb sistema de reg automatitzat mercès a un autòmata del tipus MCU, on es prepara la solució nutritiva i es controla la dosi de reg i altres paràmetres com el pH, CE, ... També es disposa d'una parcel·la amb un cultiu de plantes en contenidor dividida en cinc parts, cada part correspon a una espècie de planta ornamental diferent (Figura 4-5).

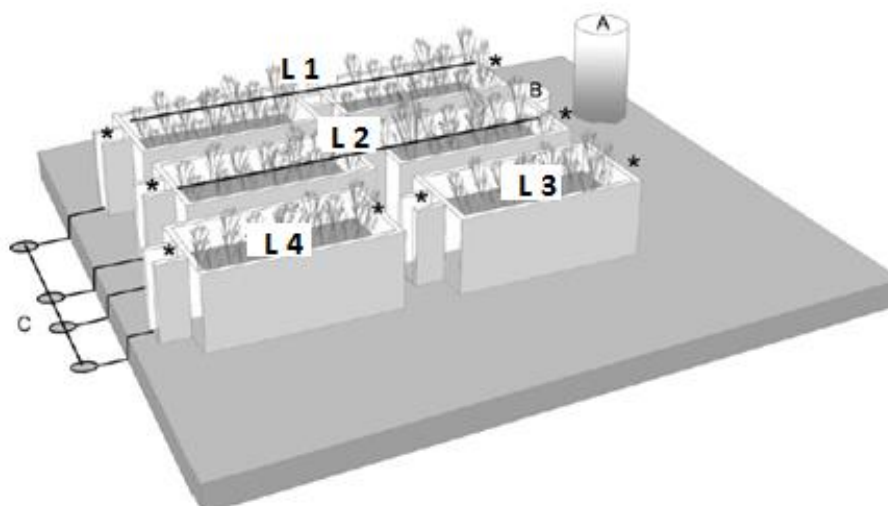


Figura 4-1 Vista general de la planta pilot. A: Dipòsit de lixiviats (afluent); B: Dipòsit amb font carbonada; L1, L2, L3, L4: Diferents línies d'aiguamolls artificials. Font: (Narváez et al. 2011).

A la planta pilot, hi ha 4 aiguamolls artificials (L1, L2, L3 i L4); dos de línia simple i dos de línia doble (L1 i L2); per tant es disposa de 6 unitats elementals (Figura 4-1) d'aiguamolls amb una mida de $(3,3 \times 1,5 \times 1,3)\text{m}^3$ cadascun.

A més es disposa d'equips propis per a la irrigació i la fertirrigació (conduccions, comptadors, bombes hidràuliques, vàlvules solenoides etc...).

4.2. Material avaluat

- **Graves d'enderroc**

En aquest treball s'ha fet servir graves d'enderroc fabricades segons la legislació espanyola (UNE-EN12620:2003+A1 i UNE-EN 13242:2003+A1). El producte és del tipus T6 la granulometria del qual és situa en l'interval de 12 a 20 mm (mitjana de diàmetre) (Figura 4-2).

La porositat és similar a la de les graves granítics (43.03% front a 44.31% de les graves d'enderroc) emprades en la resta d'aiguamolls de la planta pilot (Figura 4-1). Respecte a la densitat de les graves d'enderroc, s'ha determinat que és de 1.35 Kg/L front a l'1.53 Kg/L la de les graves granítics (Figura 4-3). Aquest material ha estat subministrat per l'empresa Tecnocatalana de Runes S.L (les Franqueses del Vallès Oriental, Catalunya, Espanya).



Figura 4-2. Graves d'enderroc.
Font pròpia.

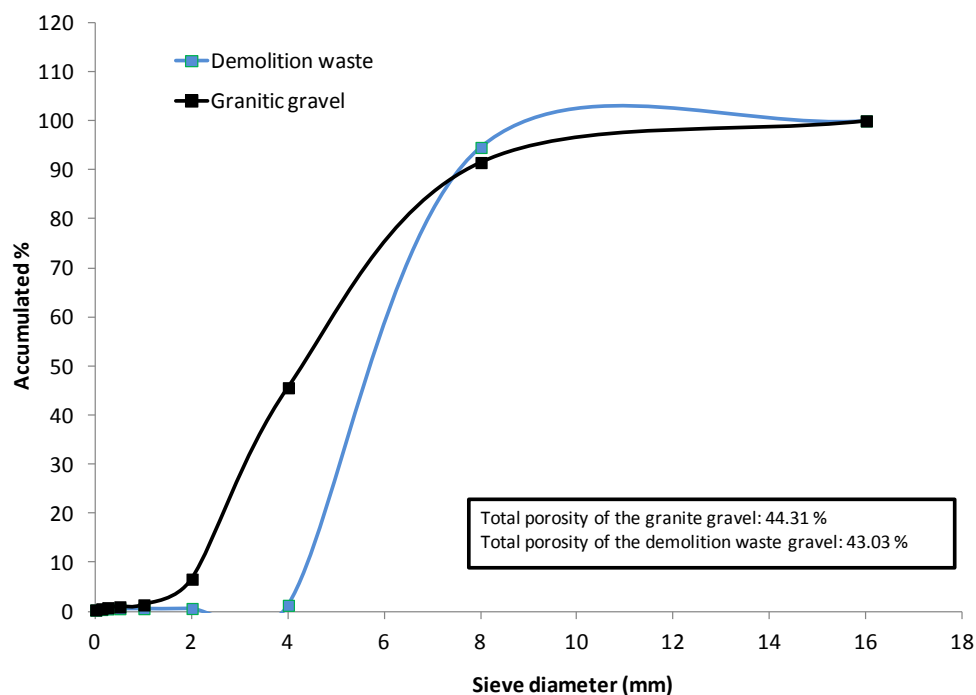


Figura 4-3. Granulometria de les graves d'enderroc i les graves granítiques.
Font: (Marfà et al., 2012).

- **Les plantes macròfites**

Als aiguamolls de la planta pilot, hi ha instal·lades plantes de lliri groc (*Iris pseudachorus* L.) que és una macròfita perenne autòctona de la família Iridaceae originària d' Euràsia. Molt comú en pantans, canals, cursos d'aigua naturals, etc,...i el sistema radicular de la qual està molt ben adaptat a desenvolupar-se submergit en l'aigua de



Figura 4-4. *Iris pseudachorus* L. Font pròpia

forma permanent. L' Iris és una de les espècies que s'utilitzen habitualment en la depuració d'aigües residuals ja que entre d'altres propietats presenta la capacitat d'absorbir certs metalls pesants continguts en els líquids a depurar (Li et al., 2015).

- El cultiu en contenidor i el filtre de sorra de flux lent horitzontal en la planta pilot disponible.

En l'àrea de cultiu en contenidor es disposa de cinc espècies de plantes amb diferents estadis de creixement. Es tracta de les següents espècies: *Myrtus communis* L (murtra), *Correa pulchella* (Dusky Bells), *Westringia fruticosa* (smokie), *Leptospermum scoparium* i *Leucophyllum frutescens* (green cloud) (Figura 4-5).

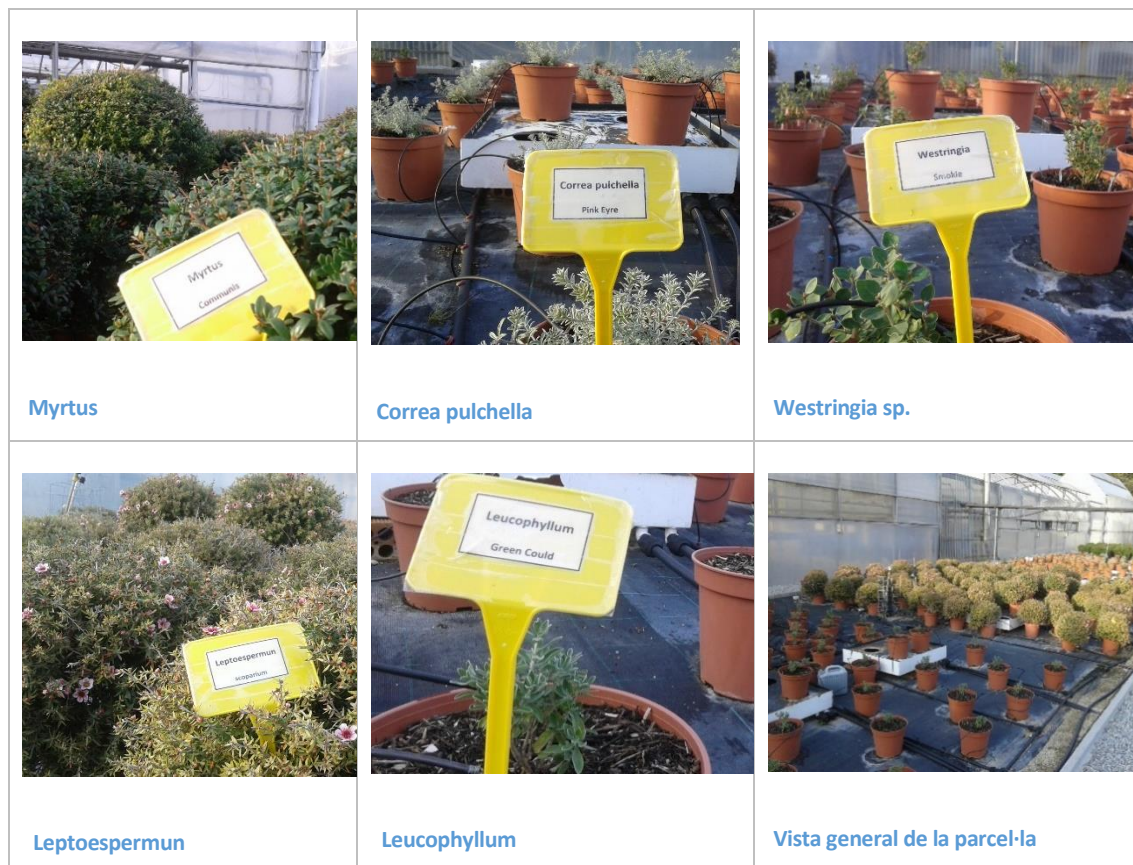


Figura 4-5 Cultiu en contenidor. Font pròpia.

La parcel·la té una dimensió de $(6,85 \times 27,6) \text{ m}^2$ i està dividida en cinc parts iguals, cada part amb una espècie diferent i amb un total de 450 plantes en testos, 90 plantes en cada subparcel·la.

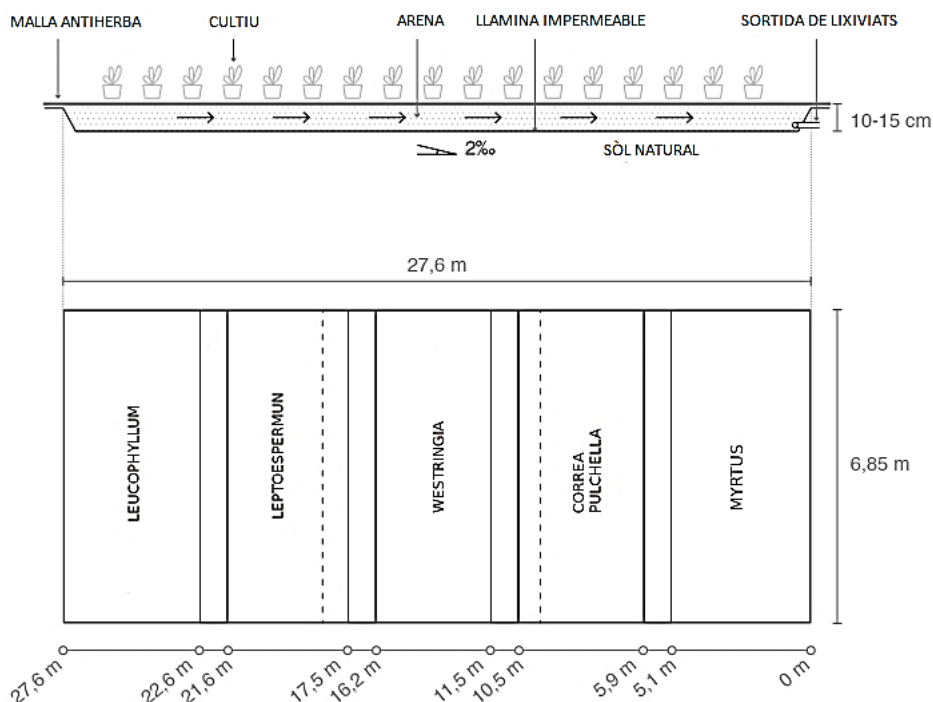


Figura 4-6. Distribució del cultiu en contenidor.

Els paràmetres mesurats i la periodicitat i localització de les mesures:

- Els nitrats i els fosfats (NO_3^- i PO_4^{3-})

A l'aiguamoll L4, s'ha realitzat un seguiment setmanal de les concentracions de nitrats amb l'aparell anomenat Nitracheck. S'han pres tres mostres com a rèpliques a l'entrada i tres a la sortida de l'aiguamoll L4.

A més, s'ha realitzat analítiques mensuals en un laboratori extern.

A l'aiguamoll L3, s'han realitzat tres analítiques a l'entrada i sortida, en un laboratori extern i un seguiment diari amb un aparell multiparàmetre en línia, connectat a la sortida i a l'entrada de l'aiguamoll.



Figura 4-7. Multiparàmetre "PowerMon S".
Font pròpia.

El multiparàmetre “PowerMon S” és de la firma “SPX” s’ha realitzat mesures mitjançant espectroscòpia directa (per a mesurar els nitrats) en el camp UV/VIS (200-710 nm), i reaccions químiques cromàtiques (per a mesurar fosfat i amoni, ja que no s’absorbeixen o són dèbilment absorbits en el camp UV/VIS). (Manual d’operació, “La família de PowerMon”, Nord-est, SPX Flow Technology Nordestedt GmbH., SPX, 2012)

Pel seguiment dels fosfats, s’han fet mesures amb freqüència mensual en mostres aquoses a l’entrada i a la sortida de l’aiguamoll L4 realitzades per un laboratori extern.

De la mateixa manera, s’ha realitzat un seguiment mensual a l’entrada i sortida de l’aiguamoll L3, i les mostres agafades han sigut analitzades en un laboratori extern.

- **Els sòlids en suspensió (SST)**

Per a mesurar els sòlids en suspensió totals (SST) de l’efluent i l’influent s’ha fet una determinació amb freqüència mensual d’aquest paràmetre des del 27 de Novembre del 2015 fins el 27 d’Abril del 2016. S’han determinat els SST mitjançant el mètode gravimètric; totes les mesures s’han realitzat en el centre de Cabrils del IRTA, amb el material següent:

- Càpsules de porcellana
- Dessecador
- Kitasato
- Embut Büchner
- Filtre de microfibra de vidre
- Pipetes de plàstic (per a mostres líquides)
- Espàtula (per a mostres sòlides o pastoses)
- Vas de precipitats de 20 ml.



Figura 4-8. D'esquerra a dreta, dessecador i en dins el filtre amb la mostra, pesa per calibra la balança, i la balança analítica. Font pròpia.

- PROCEDIMENT

- Primer es reparen les càpsules de porcellana:

1. Les càpsules han d'estar netes (amb aigua desionitzada de qualitat analítica), identificades a la base en llapis.

2. Assecar durant 1h a l'estufa a 105°C

3. Refredar les càpsules en un dessecador.

- Condicionament dels filtres:

1. Col·locar els filtres al dispositiu per filtrar (embut Büchner).

2. Netejar-los 3 vegades amb 20 ml d'aigua desionitzada de qualitat analítica.

3. Un cop filtrada tota l'aigua, extreure el filtre amb pinces amb cura de no trencar-lo i col·locar-lo a la càpsula.

4. Posar la càpsula amb el filtre a l'estufa (105°C) fins que el filtre estigui sec.

5. Deixar refredar al dessecador.

6. Pesar el filtre amb la càpsula que li correspongui i anotar el pes.

- Filtrat de la mostra:

1. Col·locar el filtre sec dins del dispositiu per filtrar (embut Büchner)
2. Afegir una mica d'aigua desionitzada de qualitat analítica per tal de fixar-lo correctament. Iniciar la succió amb la bomba de buit.
3. Pesar el volum de mostra que es desitja en un vas de precipitats (aquest volum ha de ser suficient per ser representatiu però que no obturi el filtre). Abocar tota la mostra sobre el filtre.
4. Netejar el vas amb aigua desionitzada, per tal de recollir tota la mostra i esperar fins que s'hagi filtrat completament.
 - Determinació dels Sòlids Suspesos Totals:
 1. Introduir el filtre dins la càpsula convenientment identificada amb molta cura de no perdre el residu retingut sobre el filtre.
 2. Posar la càpsula amb el filtre a l'estufa a 105°C durant 24h.
 3. Passat aquest temps refredar les càpsules en el dessecador durant 30 min.
 4. Pesar a la balança analítica i anotar el pes.

El pH i la conductivitat elèctrica

Les mesures de pH i CE dels lixiviats a l'entrada i a la sortida de l'aiguamoll s'han realitzat en el laboratori del centre del IRTA, amb una freqüència setmanal.

El pH-metre utilitzat és de la marca "Thermo Scientific" i model "Orion Dual Star pH/ISE Benchtop" amb dos canals de mesura i amb capacitat de mesurar el pH, concentració (ISE), milivolts bruts (mV), milivolts relatius (RmV), potencial d'oxidació-reducció (ORP) i temperatura.

El conductímetre utilitzat és de la marca "CRISON" model "GLP 31", que pot expressar el resultat en conductivitat elèctrica (CE), salinitat (NaCl) o sòlids totals dissolts (TDS). I que permet tres maneres de mesura: per estabilitat, en continu o per temps amb temperatura referència (25º) i coeficient de temperatura programables.

Setmanalment, s'ha pres tres mostres a l'entrada i tres a la sortida de l'aiguamoll, per tal de determinar la mitjana i l'error corresponent.



Figura 4-9. pH-metre
Font pròpia



Figura 4-10. Conductímetre
Font pròpia

- **Els metalls pesants**

S'han determinat els continguts en metalls pesants; concretament: Arsènic (metal·loide), Cadmi, Crom, Coure, Mercuri, Níquel, Plom i Zenc. La presència major o menor d'aquests elements és un bon indicador del grau de toxicitat de l'efluent pel que fa als metalls pesants aqua.

En primer lloc s'ha pres sis mostres de 266,6 mL de volum en vasos de 1000 mL (tres mostres de les graves netes, i tres mostres de les graves de dins del L4), (Figura 4-8). Després se l'hi ha afegit 400 mL d'aigua amb un extracte de 1:1,5.

A continuació, s'han etiquetat les mostres amb data 12/04/2016, i s'ha enviat al laboratori extern, (LABCOLOR, Almeria).

5. Resultats i discussions

5.1. Evolució dels nitrats

Durant tot el període experimental s'ha pogut comprovar que ha tingut lloc una acceptable taxa de desnitrificació, essent la mitjana del 79% (Figura 5-2). En pocs casos els continguts de nitrats del efluent supera els límits permessos tenint en compte les concentracions de NO_3^- dels afluents. Es pot dividir l'històric del seguiment de nitrats en dos subperíodes depenent de la relació C/N de la font carbonada (residu de la indústria cervesera).

Des del primer dia del experiment fa més d'un any i mig del mostreig 14/11/2014 fins al 14/05/2015 on la relació C/N de la font carbonada ha estat de 1,14. Aleshores, s'obté una taxa de desnitrificació del 67% i una concentració mitjana de nitrats a la sortida de l'aiguamoll de 63,1 ppm de nitrats. Mentre que a partir del 10/09/2015 fins a l'últim dia del mostreig 17/06/2016, tot i que la concentració de nitrats a l'entrada ha sigut major que al primer període, la taxa mitjana de desnitrificació ha estat del 89%, i la concentració mitjana de nitrats a la sortida de l'aiguamoll ha estat de 43 ppm, amb una relació C/N=1,4.

Dels resultats obtinguts s'infereix que amb una ratio C/N major (1,4) s'aconsegueix concentracions més baixes de nitrats i per tant millors taxes de desnitrificació, que no pas amb ratis C/N inferiors com ara l'emprat de 1, 14. Això sí, sempre i quan les concentracions d'entrada són al voltant de 300 mg/L.

A l'aiguamoll amb graves granítiques (L3) s'obtenen unes concentracions de nitrats a l'afluent, sempre per sota dels 100 ppm durant tot el període del seguiment (Figura 5-1).

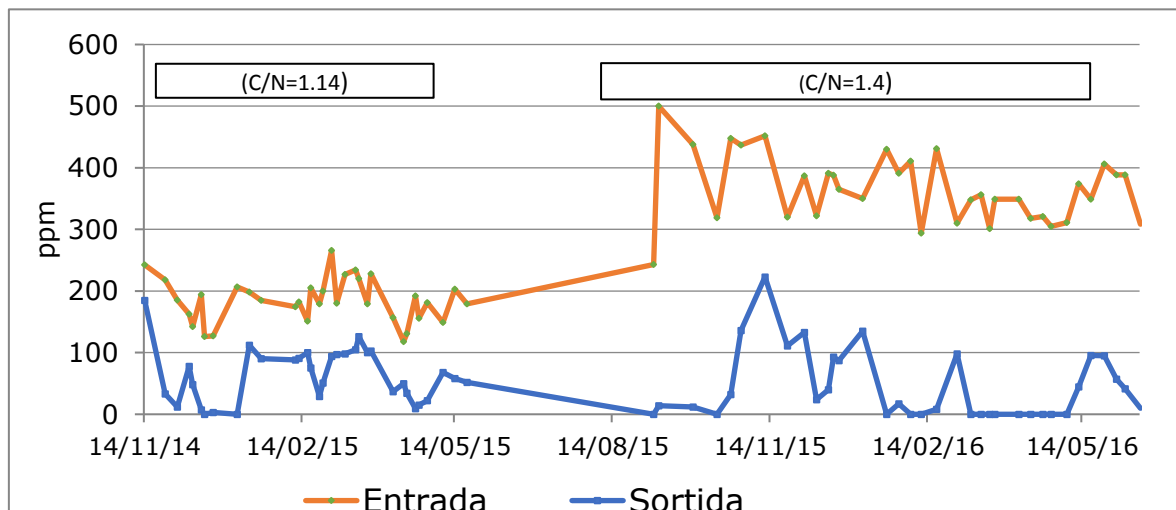


Figura 5-1 Evolució temporal de contingut de nitrats a l'afluent i efluent del aiguamoll amb grava d'enderroc (L4).

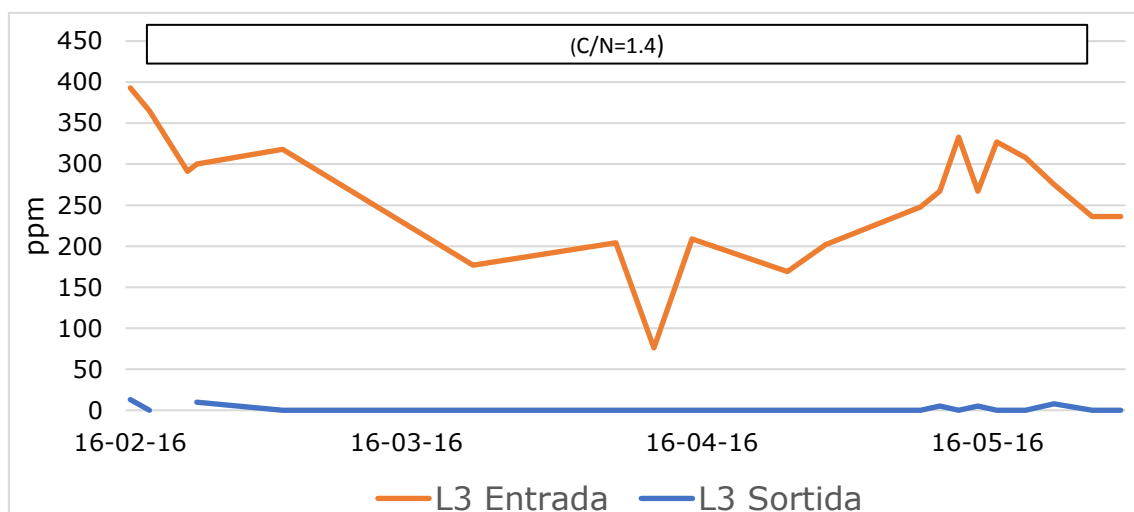


Figura 5-2 Evolució de les concentracions de nitrats a l'entrada i sortida de l'aiguamoll artificial amb grava granítica (L3).

5.2. Evolució dels fosfats

Gràcies a la utilització de les graves d'enderroc al L4, s'ha aconseguit una mitjana d'eliminació dels fosfats del 80% (Figura 5-4) mitjançant l'aiguamoll artificial, sense afegir cap mena de producte químic per contribuir a la precipitació dels fosfats inicialment solubles. La concentració mitjana de fosfats solubles a l'entrada ha estat de 102 ppm, i a la sortida ha estat de 16 mg/L (Figura 5-3), sent una concentració per sota del llindar de 100 ppm de fòsfor total, fixat pel Decret 130/2003, de 13 de maig, pel qual s'aprova el Reglament dels serveis de sanejament. Durant el període 02/02/2015 fins al 30/05/2016.

Mentre que a l'aiguamoll amb graves granítiques L3, degut a que el material és inert no s'aconsegueix un augment del pH i com a conseqüència no precipiten els fosfats (Figura 5-5).

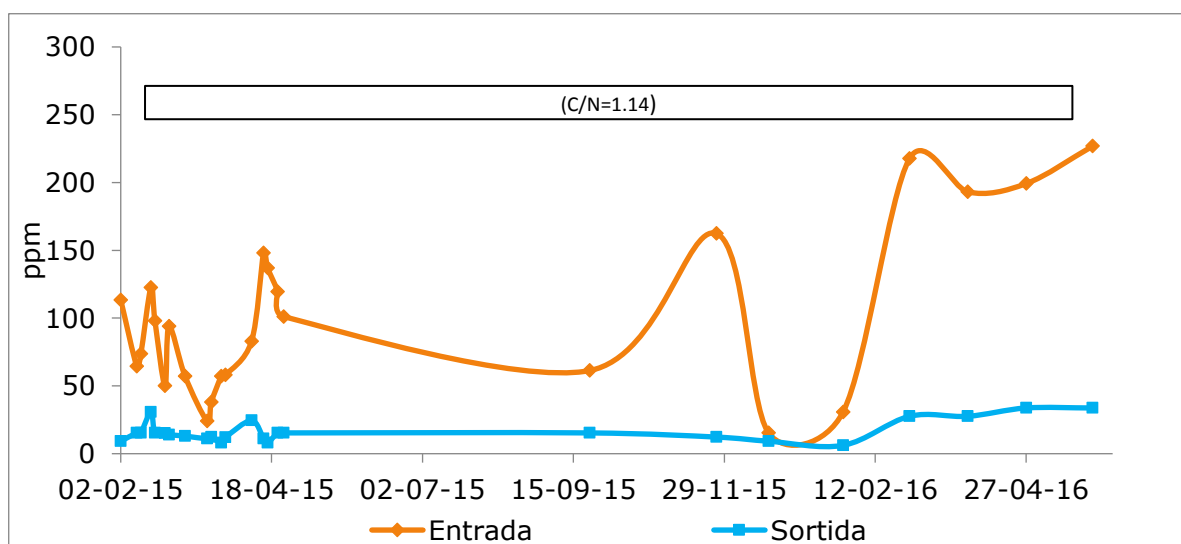


Figura 5-3. Seguiment de l'evolució dels fosfats a l'entrada i sortida de l'aiguamoll amb graves d'enderroc (L4).

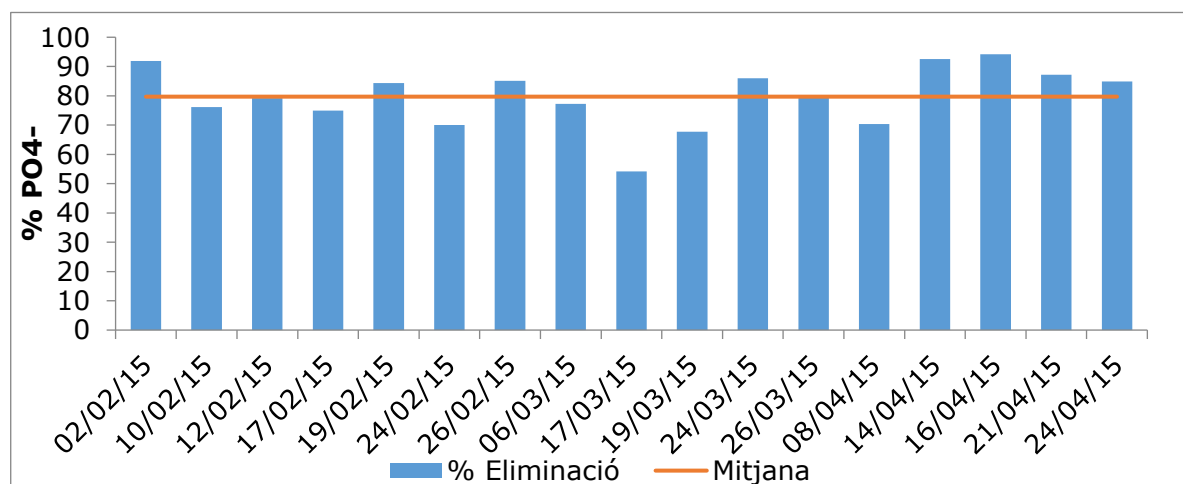


Figura 5-4. Seguiment del percentatge d'eliminació dels fosfats a l'aiguamoll amb graves d'enderroc (L4).

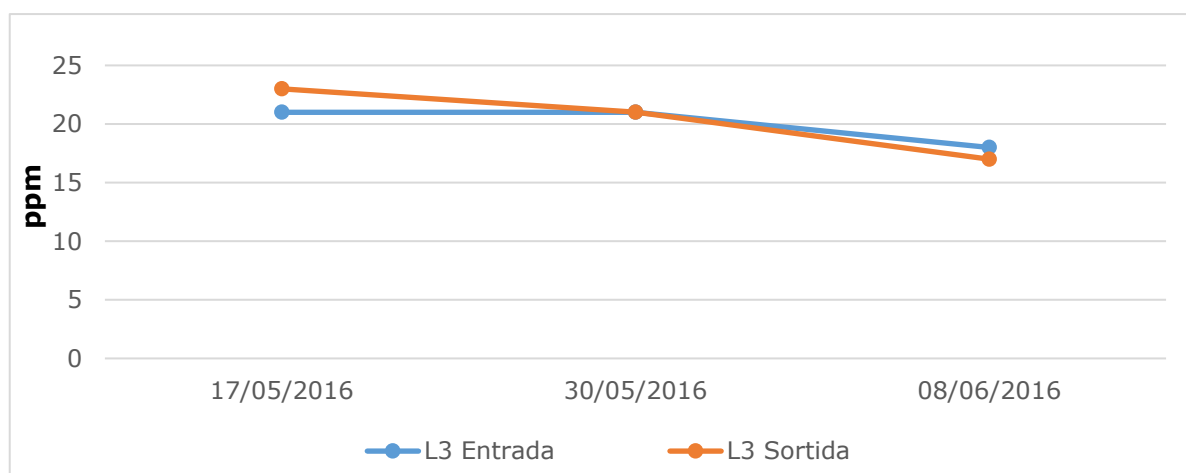


Figura 5-5. Seguiment de l'evolució dels fosfats a l'entrada i sortida de l'aiguamoll amb graves granítiques (L3).

5.3. Evolució dels SST

Dels resultats obtinguts, a la sortida de l'aiguamoll hi ha menys concentració de SST que a la entrada tot i que la diferència no és gaire remarcable. La mitjana de SST a la sortida és de 52,7 ppm que és un valor molt llunyà del líndar de 750 ppm establert per a les EDAR quan a límits per a l'abocament segons la Directiva 91/271/CEE i Decret 130/2003, de 13 de maig, pel qual s'aprova el Reglament dels serveis de sanejament ; per tant, l'aigua a la sortida de l'aiguamoll no se'l pot classificar com a contaminada pel que fa a aquest paràmetre. Tot i així podria presentar un lleu problema respecte a la sensibilitat a obturacions d'elements d'irrigació localitzada, segons la classificació temptativa de (Bucks, et al., 1979), en cas de voler tornar l'aigua tractada cap al sistema de recirculació.

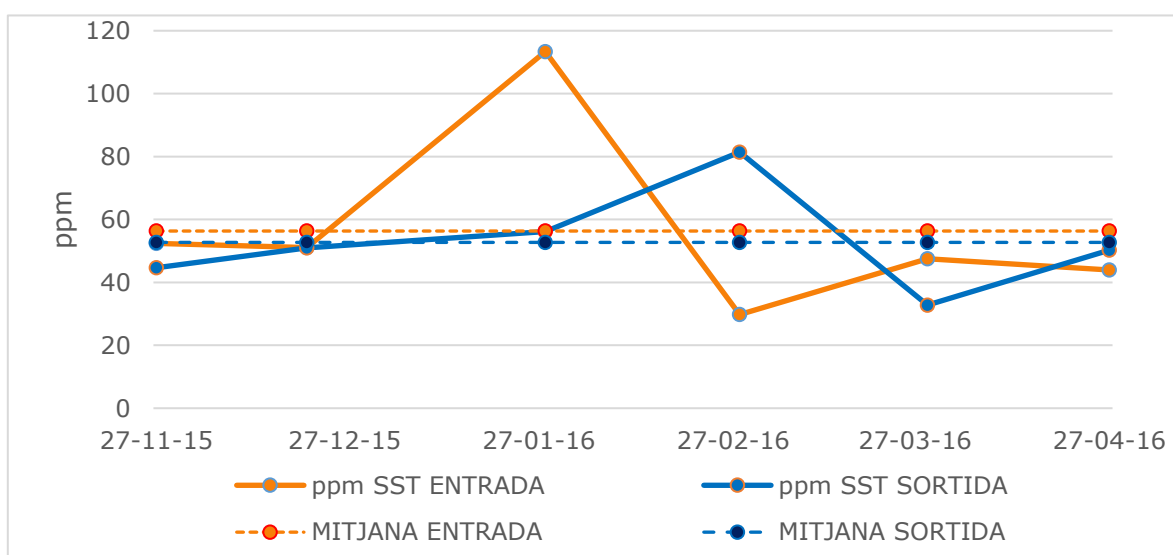


Figura 5-6. Evolució dels sòlids totals en suspensió a l'entrada i sortida de l'aiguamoll artificial (L4).

5.4. Evolució del pH

Durant els dos primers mesos, a l'inici del experiment. Al aiguamoll artificial L4, s'observa un pH superior a 10 probablement fruit de l'alliberament d'espècies químiques solubles de les pròpies graves de demolició i especialment de bicarbonats (Figura 5-7), però a partir d'aquests dos mesos, el nivell del pH s'estabilitza al voltant de pH=8 durant un any aproximadament fins el Març del 2015 (Taula 8). A causa d'una manipulació no desitjada, s'ha buidat l'aiguamoll fins a un cert nivell d'aigua durant un període. Aquest fet va provocar un cert desequilibri en el flux i possiblement en la composició de la microbiota de l'aiguamoll i també del temps de residència de l'aigua que és de 10-12 dies; El temps que ha calgut per restablir l'equilibri va ser de tres setmanes aproximadament a partir del qual el pH va oscil·lar de valors prop de 6,9 fins a ascendir progressivament fins a valors al voltant de pH ≥ 8 (Taula 8). Durant tot el període del seguiment s'ha registrat un pH mitjà de 8,9 i que és un valor dintre del rang pH= [6-10] fixat per la Directiva 130/2003, de 13 de maig.

Mentre que el pH a l'entrada presenta un valor mitjà de 7,1 amb variacions no tant marcades com a la sortida de l'aiguamoll.

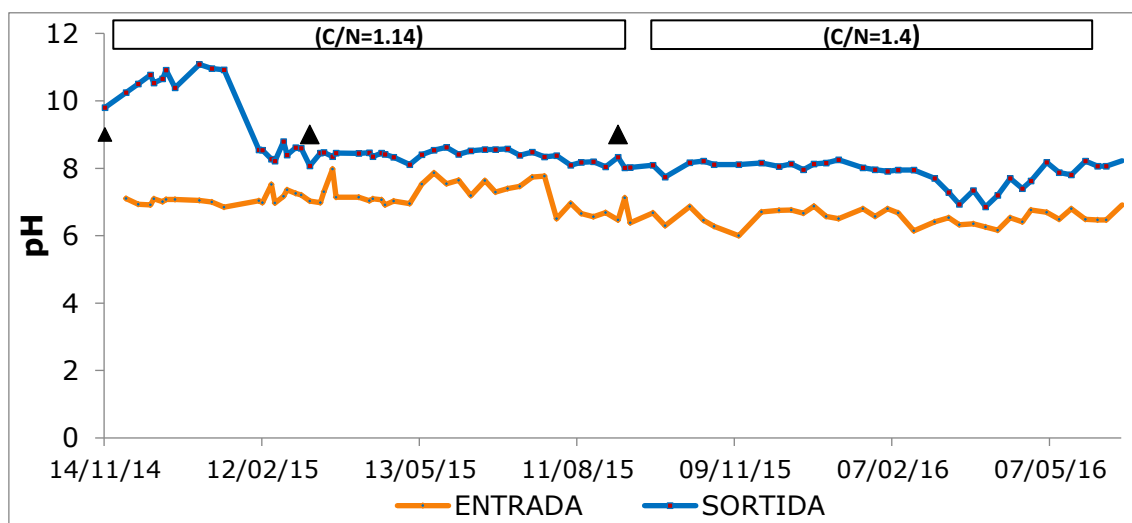


Figura 5-7. Seguiment setmanal de pH a l'entrada i sortida de l'aiguamoll artificial (L4).

5.5. Evolució de la CE

L'evolució de la conductivitat elèctrica a la sortida de l'aiguamoll és anàloga a la del pH. Així, a l'inici del període de seguiment i durant els dos primers mesos de seguiment, s'ha detectat valors elevats de una CE alta, amb valors prop del 3 dS/m. Posteriorment la CE s'estabilitza al voltant de 1,5 dS/m fins a l'últim dia del experiment, excepte en el període [02/03 – 10/04] on el valor de la conductivitat ha superat els 2 dS/m degut al buidat inesperat de l'aiguamoll L4 (Figura 5-8).

Durant tot el període del seguiment en cap moment s'ha registrar valors superiors al llindar de 6 dS/m, fixat per la Directiva 130/2003, de 13 de maig .

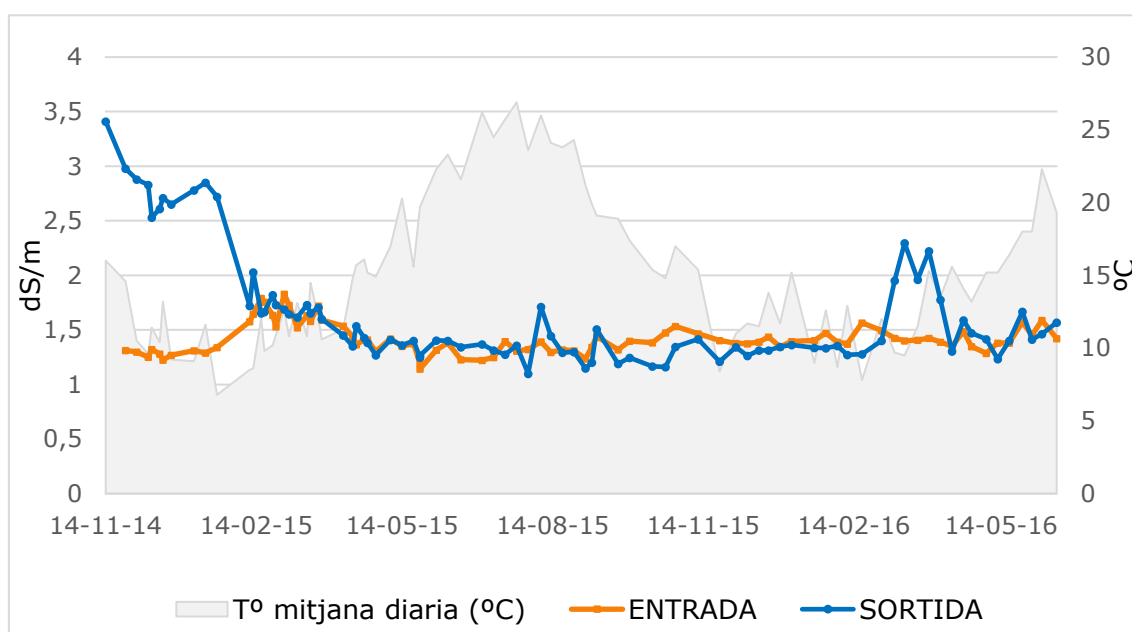


Figura 5-8. Evolució de la CE a l'entrada i sortida de l'aiguamoll amb la temperatura.

5.6. Els metalls pesants en els extractes aquoses de les graves d'enderroc

Els resultats obtinguts mostren que les concentracions en metalls pesants en els dos extractes són molt distant dels valors límits establerts pel Decret 130/2003. S'aprecia la diferencia de magnitud de les unitats de mesura (mg/L i µg/l) entre els valors determinats en les mostres i els líndars establerts per la normativa (Taula 6). Això indica que les graves d'enderroc emprades no presenten cap tipus de problemàtica pel que fa a la contaminació dels efluents en metalls pesants i que constitueixen un material adequat per a ser emprats com a substrat en aiguamolls artificials en l'aplicació que ens ocupa.



Figura 5-9. Mostres de graves d'enderroc utilitzades i netes.

Font pròpia

Taula 4. Concentració dels metalls pesants en un extracte aquós d' 1:1,5 de les graves de demolició netes i graves utilitzades en l'aiguamoll comparats amb els valors límits segons el DECRET 130/2003, de 13 de maig, pel qual s'aprova el Reglament dels serveis públics de sanejament.

	UNITAT	GRAVES L4	GRAVES NETES	VALOR LÍMIT	UNITAT
ARSÈNIC (As)	µg/l	3,91	1,99	1	(mg/l) o (ppm)
CADMI (Cd)	µg/l	<5,00	<5,00	0,5	(mg/l) o (ppm)
CROM (Cr)	µg/l	<10,0	<10,0	0,5	(mg/l) o (ppm)
COBRE (Cu)	µg/l	<0,0500	<0,0500	3	(mg/l) o (ppm)
MERCURI (Hg)	µg/l	<1,00	<1,00	0,1	(mg/l) o (ppm)
NIQUEL (Ni)	µg/l	<5,00	<5,00	5	(mg/l) o (ppm)
PLOM (Pb)	µg/l	<10,0	<10,0	1	(mg/l) o (ppm)
ZINC (Zn)	µg/l	<50,0	<50,0	10	(mg/l) o (ppm)

5.7. Evolució d'altres ions

Al principi de l'experiment (19/02/15 - 29/03/16), s'observa valors de pH alcalí a la sortida de l'aiguamoll (L4), pel que fa que hi hagi una bona desnitrificació i precipitació de fosfats, i una concentració de bicarbonats HCO_3^- sempre per sobre dels 300 ppm.

Ara bé, a partir del dia 29/03/16, quan va haver hi el buidament de l'aiguamoll artificial, s'observa la resposta a nivell iònic d'aquesta alteració. Ja que, de sobte el pH baixa de pH=8 (29/02/16) a pH=7.01 (29/03/16), i el contingut en sals gairebé s'ha duplicat i per tant la conductivitat també ha passat de 1,61 dS/m a 2,9 dS/m. Mentre que els bicarbonats s'han triplicat, aquest període s'ha marcat també per uns nivells de nitrats alts a la sortida pel que fa que l'alteració del nivell de l'aigua, ha contribuït a una alteració de la fauna microbiana responsable de la desnitrificació. Durant aquest període també s'ha observat un augment en les concentracions de calci, clorurs, i magnesi a cara a una disminució de la concentració de sulfats.

Però, a partir del mes següent, s'observa com es recupera els valors normals inicials gradualment, fins arribar a la mesura del dia 30/05/16 on tots els valors i concentracions són semblants a les del principi. Recuperant el pH inicial, amb un valor de pH=7,88, una concentració de nitrats a la sortida de 50 ppm, 336 ppm de bicarbonats, i una concentració de fosfats de 5 ppm.

Taula 5. Analítiques de diferents ions a la entrada de L4, durant el període 19/02/2015 fins el 30/05/2016.

DATA	pH	CE (dS.m ⁻¹)	Sals totals (g.L ⁻¹)	CO ₃ ⁻² ppm	HCO ₃ ⁻ ppm	NO ₃ ⁻ ppm	NO ₂ ⁻ ppm	SO ₄ ⁻² ppm	Cl ⁻¹ ppm	P ppm	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	NH ₄ ⁺ ppm
19/02/15	7,06	1,52	1,21	0	259	191	24,4	156	133	32	79	123	127	31	10
25/09/15	6,73	1,39	1,06	0	305	55	9,6	162	155	20	84	68	111	33	23
25/11/15	6,76	1,35	1,14	0	207	201	3,9	148	147	53	40	58	138	38	< 0.2
21/12/15	6,68	1,13	1,03	0	290	66	6,3	151	186	5	75	68	139	36	< 0.2
27/01/16	6,58	1,35	1,13	0	387	28	5,3	200	151	10	72	112	133	32	0
29/02/16	6,56	1,78	1,41	0	122	319	0,57	180	151	71	74	180	125	32	6,66
29/03/16	6,8	1,48	2,97	0	116	314	0,31	170	156	63	77	134	123	35	8
27/04/16	6,67	1,57	1,14	0	85	362	0,56	120	133	65	81	126	125	32	2
30/05/16	6,74	1,51	1,2	0	82	334	74	172	142	74	76	157	132	34	0

Taula 6. Analítiques de diferents ions a la sortida de L4, durant el període 19/02/2015 fins el 30/05/2016.

DATA	pH	CE (dS.m ⁻¹)	Sals totals (g.L ⁻¹)	CO ₃ ⁻² ppm	HCO ₃ ⁻ ppm	NO ₃ ⁻ ppm	NO ₂ ⁻ ppm	SO ₄ ⁻² ppm	Cl ⁻¹ ppm	P ppm	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	NH ₄ ⁺ ppm
19/02/15	8,75	1,62	1,3	23	305	45	14,1	348	161	5	89	121	138	36	15
25/09/15	8,12	1,23	1,02	0	397	< 5	0,278	157	155	5	80	41	96	33	41
25/11/15	8,2	1,26	0,95	0	314	37	3,7	153	164	4	72	46	119	36	< 0.2
21/12/15	7,95	1,1	1,08	0	418	< 5	5,7	149	178	3	79	64	149	38	< 0.2
27/01/16	7,87	1,26	1,14	0	510	0	0,8	162	152	2	70	73	142	39	0
29/02/16	8	1,61	1,28	0	420,9	94	1,3	202	160	9	85	113	137	39	2,16
29/03/16	7,01	2,9	2,97	0	1565	35	0,16	30	506	9	87	154	515	73	0
27/04/16	7,11	1,92	1,71	0	793	70	0,03	48	293	11	93	143	219	56	2
30/05/16	7,88	1,47	1,24	0	336	40	0,24	315	138	5	81	131	153	36	0

SEGUIMENT I AVALUACIÓ DEL SISTEMA CLEANLEACH EN PLANTA PILOT.

L'aigua és un recurs vital per a tot ésser viu. El sector agrícola és un gran consumidor d'aigua, per això és important optimitzar al màxim aquest recurs en aquest sector i especialment en l'horticultura intensiva.

En el cultius intensius duts a terme fora del sòl natural hi ha més possibilitats de millorar l'eficiència en l'ús de l'aigua i els fertilitzants, establint sistemes tancats o amb recirculació (Marfà et al., 2000). Per aconseguir un sistema integral de reutilització i recirculació dels lixiviats en un conreu fora del sòl natural establint un sistema tancat cal el següent:

- Recollida de la totalitat o bona part del volum dels lixiviats generats.
- Pre-filtrar-los, aclarir-los i filtrar-los.
- Higienitzar-los
- Barrejar-los amb aigua de reg per completar el volum d'aigua requerida per al cultiu.
- Reformular la solució nutritiva a partir de la barreja precedent
- Eliminar els nitrats i els fosfats solubles de la fracció de lixiviats que calgui abocar al medi per mantenir el major temps possible condicions adequades per a les plantes cultivades de l'aigua recirculada.

Durant el període experimental s'ha avaluat el funcionament del sistema CLEANLEACH® i la seva eficàcia quant a la capacitat d'optimitzar els recursos hídrics i els fertilitzants i la funcionalitat dels equips de que es disposa en la planta pilot del Centre de Cabrils del IRTA.

6. Material i mètodes

A la planta pilot, es disposava de material i equipaments necessaris per poder mesurar el balanç hídric, com a comptadors, bidons repartits aleatòriament arreu de la parcel·la, amb capacitats de 5L i 20L, també es disposava de dipòsits, i materials ja descrits prèviament.

El cultiu en contenidor rep l'aigua a partir de dos degotadors per planta, una fracció d'aquesta aigua l'aprofita la pròpia planta pel seu creixement, una part es lixivia, es filtre i es desinfecta gràcies al filtre de sorra horitzontal. Un cop filtrats, els lixiviats passen a un petit dipòsit on hi ha un comptador que mesura les quantitats d'aigua lixivada, just després, aquesta aigua s'emmagatzema en un dipòsit semi-enterrat. Des d'aquest dipòsit, es retorna una fracció cap al sistema, mentre que l'altra fracció s'envia al dipòsit que alimenta als aiguamolls artificials on es depuren els lixiviats, i finalment poder abocar-los al medi. (Figura 6-1).

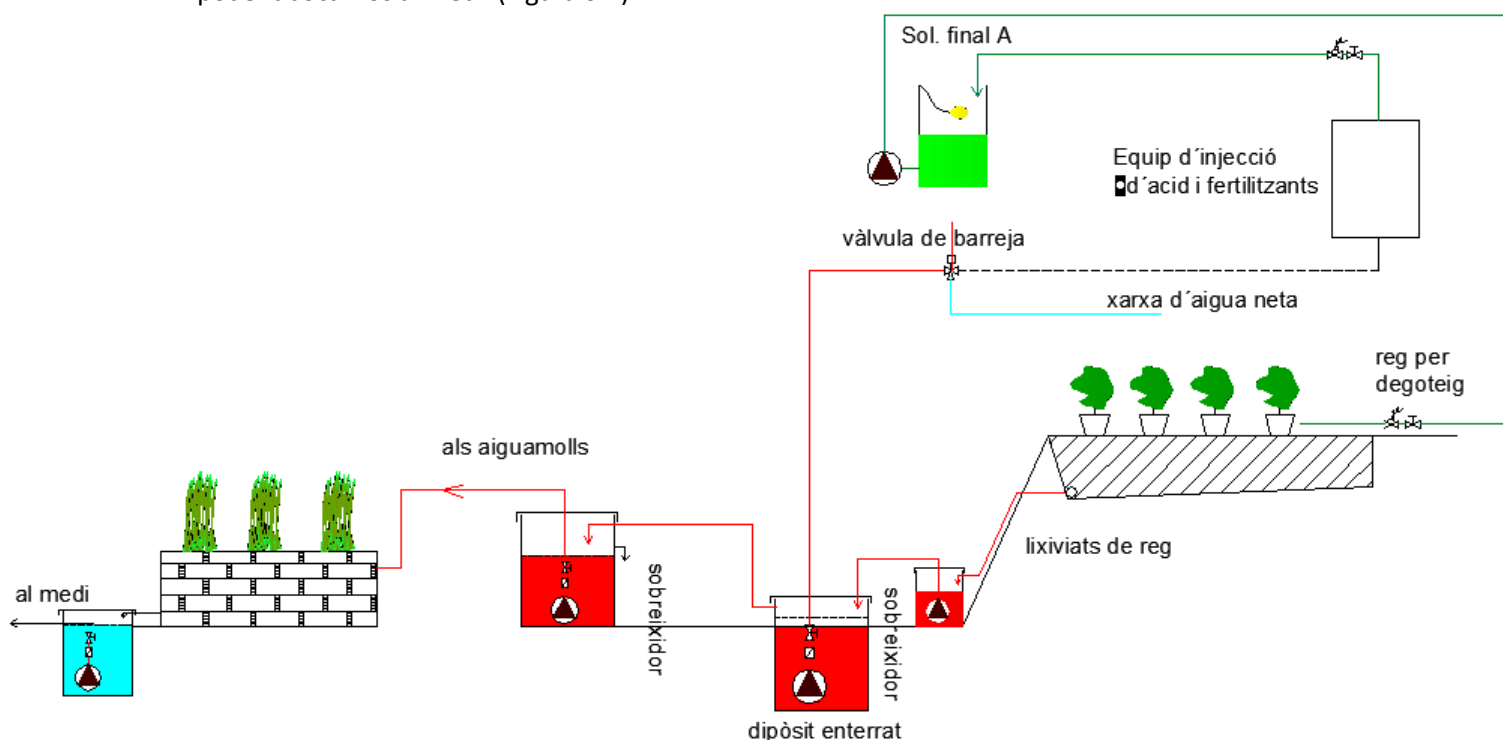


Figura 6-1. Esquema del sistema CLEANLEACH a la planta pilot, IRTA Cabriels. Font pròpia

- Aigua de reg

Per mesurar la quantitat d'aigua de reg aportada al cultiu, s'han emprat 5 bidons de 6 L, ubicats aleatòriament per tota la parcel·la, on cada bidó rep aigua d'un degotador. Cada 24 hores s'ha mesurat el volum acumulat de SN aportat a cada bidó.

La composició de l'aigua de reg han sigut determinades pel personal responsable, del centre IRTA, Cabrils, de manera que, a partir del dia 19/02/2016, la consigna del pH ha sigut de 6,6, i les quantitats d'adobs minerals tenien els percentatges de la (Taula 7) amb una dilució de 1Kg(adob):10L (solució concentrada). Mentre que la ECp, com s'ha comentat abans, s'ha anat modificant.

Taula 7. Contingut de la SN en adobs minerals.

19/02/2016	
A : Nitrat de potassi	22%
C: Fosfat monopotàssic	42%
D : Nitrat amònic	27%
E: Microelements	9%
	100%

- Mesura del volum de lixiviats a la sortida del filtre de sorra

A la sortida del filtre de sorra es disposava d'un comptador volumètric. Cada 24 hores es realitzava una lectura per així determinar el volum que s'evacuen pel filtre de sorra.

Perquè sigui possible la recirculació, s'ha modificat la consigna de conductivitat elèctrica que estableix la CE de la barreja d'aigua de reg i de lixiviats (ECp) en varis moments al llarg del període experimental (Taula 8), depenent de la qualitat d'aigua, dels episodis de pluja, i de la radiació solar global rebuda en la capçada vegetal del cultiu que establia el llindar a partir del qual arrancava el reg. La dosi de reg en relació als requeriments hídrics del cultiu determina el volum de lixiviats generats. S'ha procurat de mantenir un determinat volum de lixiviats en el dipòsit que els acumula just a la sortida del filtre de sorra, per tal d'assegurar, tant l'alimentació dels aiguamolls artificials com els requeriments per al retorn al circuit d'irrigació recirculant. El valor d' ECp determina la demanda de volum de lixiviats per part del circuit d'irrigació. En la mesura que ECp és més elevada que la EC de l'aigua disponible per al reg s'utilitza més quantitat de lixiviats i a la inversa. Per exemple, si l'aigua per al reg té una CE de 1 dS/m, i la CE dels lixiviats 1,2 dS/m, si la ECp és de 1,1 dS/m l'autòmata demanarà un 50% de volum d'aigua d'irrigació i un altre 50% de lixiviats..

Aquestes modificacions d'ECp, s'han realitzat depenent de la major o menor disponibilitat de lixiviats en el dipòsit de magatzematge dels mateixos (Taula 8) i (Taula 9). De manera que, quan hi havia un excés en lixiviats es procurava augmentar la ECp per així incrementar la demanda de

lixiviats per a la fabricació de solució nutritiva per a la fertirrigació. Per contra, quan el volum de lixiviats disponible era reduït calia disminuir la ECp per no esgotar encara més la disponibilitat de lixiviats i així garantir l'alimentació dels aiguamolls que ha de ser contínua, sense interrupcions per assegurar el seu correcte funcionament.

Taula 8. Històric de la consigna ECp per tal d'ajustar el nivell dels lixiviats.

Data de modificació	Paràmetre modificat	Valor
15/02/2016	ECp (dS/m)	1,5
16/02/2016	ECp (dS/m)	1,4
18/02/2016	ECp (dS/m)	1,3
04/03/2016	ECp (dS/m)	1,1
07/03/2016	ECp (dS/m)	1,5
09/03/2016	ECp (dS/m)	1,2
15/04/2016	ECp (dS/m)	1,1

Taula 9. Històric del temps de reg i la quota llindar de radiació solar global.

Data de modificació	Paràmetre modificat	Valor
29/03/2016	Temps de reg	30 min a 20 min
26/04/2016	Temps de reg	20 min a 12 min
02/05/2016	Temps de reg	12 min a 10 min
18/05/2016	Quota llindar de radiació solar global	300 a 350 (W.h.m ⁻²)
20/05/2016	Quota llindar de radiació solar global	400 a 450 (W.h.m ⁻²)

- Lixiviats vers els aiguamolls

Cada setmana es calculava el cabal dels degotadors que alimentaven els aiguamolls. Així, si ja es coneix el temps de funcionament de la bomba (50 minuts cada hora) i el cabal, es calcula el volum diari que entra a l'aiguamoll i tot seguit el volum setmanal.

$$\text{Cabal setmanal} = \text{Cabal (L/h)} * 24 \text{ h/dia} * 7 \text{ dies/setmana}$$

La bibliografia suggereix que perquè els lixiviats restin recirculant el major temps possible, el percentatge de lixiviats, respecte del volum total d'aigua en els sistema derivats cap a l'exterior, però en aquest cas prèviament a l'aiguamoll hauria de ser de l'ordre del 5%, quan la CE d'aigua de reg sigui de l'ordre de 1,1 dS/m (Prenafeta. F, et al., 1997).

7. Resultats

Al principi del seguiment s'observa que hi ha hagut altes aportacions hídriques, cosa que explica l'alta taxa de lixiviació, arribant fins al 84 % de FL durant el període del [15/04 al 06/05]. Per tant, tot seguit s'ha disminuït la dosi de reg reduint el temps de reg, i augmentant la quota de radiació solar global. D'aquesta manera s'ha aconseguit una FL de 31% durant la setmana del 03/06 al 10/06 (Figura 7-1).

S'observa que durant les primeres setmanes del 15/04/16 fins al 20/05/16, els volums de lixiviat han estat remarcables amb valors màxims coincidents amb l'ocurrència de pluges. En endavant, un cop disminuïda la dosi de reg, el volum de reg aportat ha disminuït considerablement i en conseqüència ha disminuït el volum de lixiviat.

Per contra, el volum setmanal de lixiviat que va passar al dipòsit enterrat, va baixar des de 27000 L/setmana el 22/04, fins als 2064 L/setmana el 17/06. Aquesta disminució de la dosi de reg i conseqüentment del volum de lixiviat ve donada per la modificació contínua del temps de reg, passant de 20 minuts/reg a 10 minuts/reg.

La FL mitjana ha sigut de 73%, un valor superior a les tasses normals de [20% - 40%] o fins a 50% en CFS (Castañón et al., 2002). Aquesta elevada taxa de drenatge ve explicada per les elevades aportacions d'aigua de reg al principi de l'experiment. Això és degut, al seu torn, a la dificultat d'ajustar les aportacions de forma manual, com així ha estat, sobretot quan tenen lloc episodis de pluja, com ha estat des de finals d'Abril a principis de Maig (Figura 7-1) (Figura 7-2).

De tot plegat n'ha resultat que els lixiviat derivats a l'aiguamoll, han representat, com a mitjana, l'11,4% respecte de l'aigua de reg aportada al cultiu. Aquest percentatge és elevat si es compara amb el referit en la bibliografia (Prenafeta Boldú et al., 1997) (Figura 7-2).

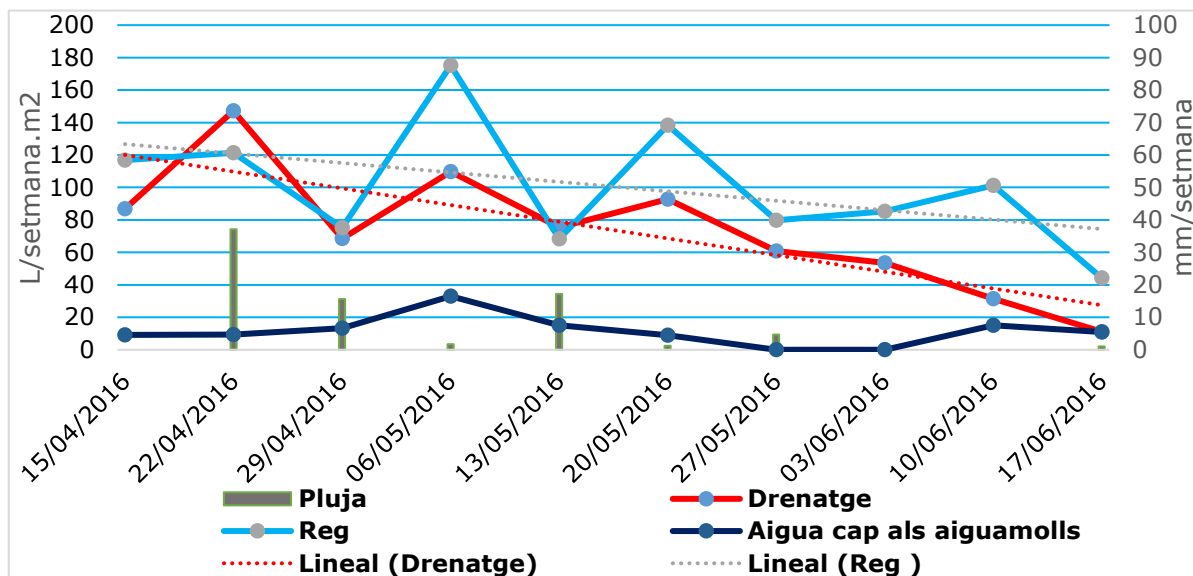


Figura 7-1. Seguiment setmanal de les aportacions de reg, lixiviats, i aigua consumida pels aiguamolls

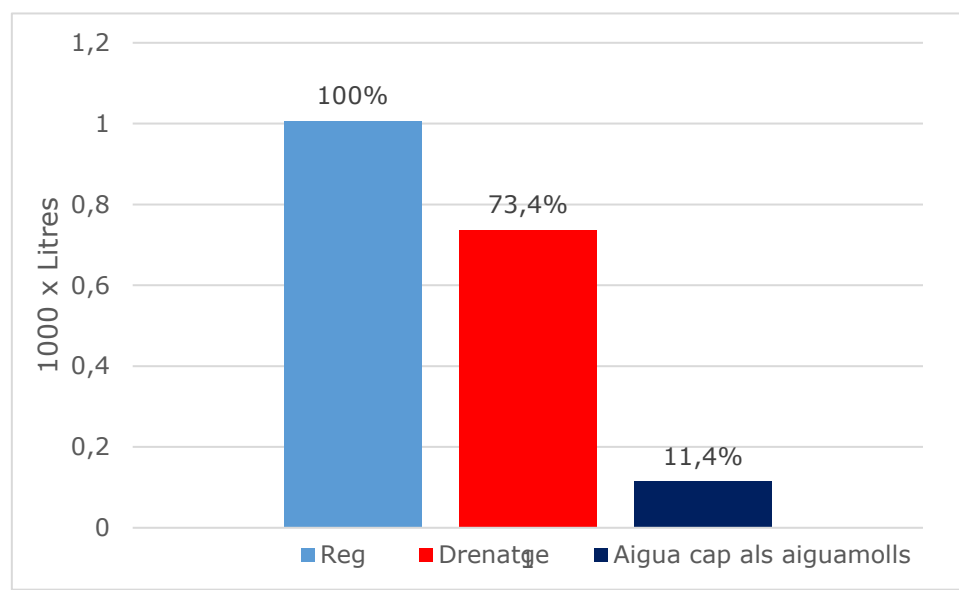


Figura 7-2. Balanç hídric a la planta pilot, des del 15/04/16 fins al 17/06/2016

Balanç de nitrats.

Pel que fa a l'evolució de les aportacions de nitrats, s'observa una semblança entre el comportament d'aquests (Figura 7-3) i la corba del seguiment hídric (Figura 7-1). No obstant, es pot dividir el període de seguiment en dos períodes, el primer del 15/04 al 06/05 on tant les aportacions de nitrats com les quantitats que es lixivien són bastant similars, degut a les altes dosis de reg, i la coincidència de pluges primaverals. En un segon període, des del 15/04 fins al 27/05, s'observa una clara diferència entre l'evolució de les quantitats de nitrats aportats amb el reg i les corresponents dels lixiviats, sent, la quantitat aportada més gran que la lixiviada.

El valor d'aportacions en nitrats no significa que tota la quantitat prové dels injectors del capçal de fertirrigació si no que resulta de la barreja de les aportacions anteriors, del contingut de nitrats de l'aigua de reg disponible i de les quantitats de nitrats de la fracció de lixiviats que retornen al circuit de fertirrigació. O sigui, com que els lixiviats ja és una aigua rica en nutrients, lo que realment s'aporta és menys del que està calculat, si es resta la part de nitrats aportada per aquesta aigua.

Al cultiu en contenidor i durant el període [15/04 al 27/05], s'ha aportat una mitjana de 5,2 Kg NO_3^- per setmana en una superfície de 186 m² i s'ha lixiviat 4,6 Kg NO_3^- durant el mateix període. Això significa una absorció de 0,6Kg NO_3^- per part del cultiu. Mentre que s'ha derivat 0,7 Kg NO_3^- setmanalment cap a l'aiguamoll.

A la practica, és habitual l'aportació en excés de fertilitzants en sistemes intensius, arribant a produir pèrdues de fins a 2000 Kg / ha.any de nitrogen (Castañó, et al., 2002). Comparat amb les pèrdues a la planta pilot, només 440 Kg N/ha.any s'han derivat a l'aiguamoll: Però mercès al procés de desnitrificació que té lloc en l'aiguamoll la quantitat evacuada al medi ha estat molt menor ja que la mitjana de desnitrificació és del 79%, com abans s'ha destacat.

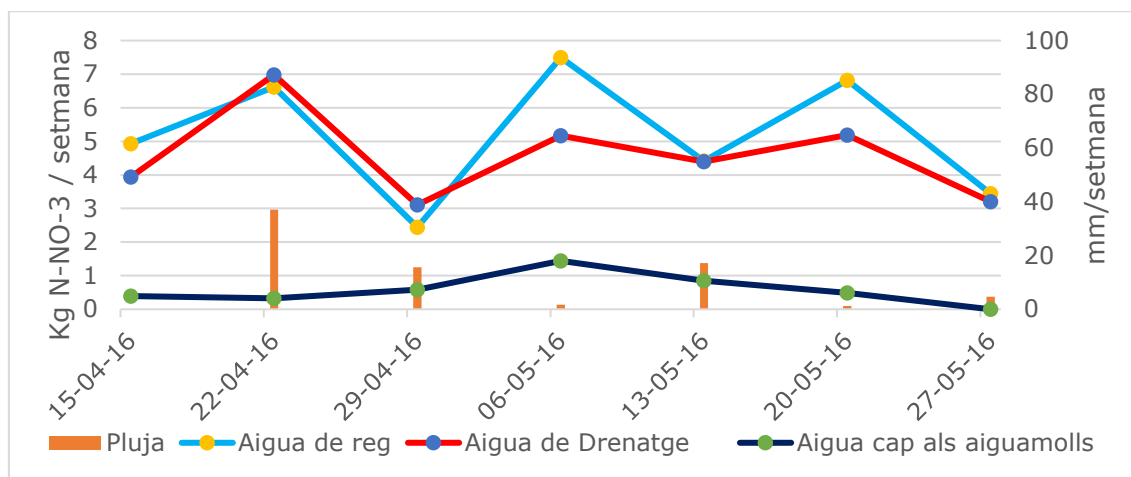


Figura 7-3. Balanç de nitrats en el sistema de recirculació en una parcel·la de 186 m².

Propostes de millora

Per millorar l'eficiència en l'ús de l'aigua i dels nutrients en el sistema i evitar pèrdues d'aigua i de nutrients pels sobreexidors dels dipòsits de lixiviats, en primer lloc cal dimensionar correctament els dipòsits de magatzematge de lixiviats. D'aquí ve la idea d'implementar una bassa amb capacitat suficient per recollir els lixiviats de l'explotació. Això permetrà aprofitar al màxim els lixiviats ja que es tindrà més volum d'aigua de lixiviats emmagatzemada, disponible per barrejar amb aigua neta. Això comportarà una menor dependència d'aigua de reg, i per tant estalvi d'aigua i disminució de costos.

Per tal de no haver de gestionar manualment la disponibilitat de lixiviats vehiculitzats cap als aiguamolls artificials, caldria invertir l'ordre dels dipòsits. De manera que primerament els lixiviats provinents del filtre de sorra horitzontal van al dipòsit que alimenta els aiguamolls, i l'excedent va a la bassa d'emmagatzematge de lixiviats. Des de la bassa s'alimenta els requeriments per al reg que vindran determinats per la ECp establerta. (Figura 7-4).

L'altre element important de la modificació proposada és l'automatització completa del sistema. Això s'aconsegueix amb la instal·lació de dos comptadors connectats a l'ordinador de reg MCU. D'aquesta manera es podrà optimitzar les aportacions d'aigua al cultiu.

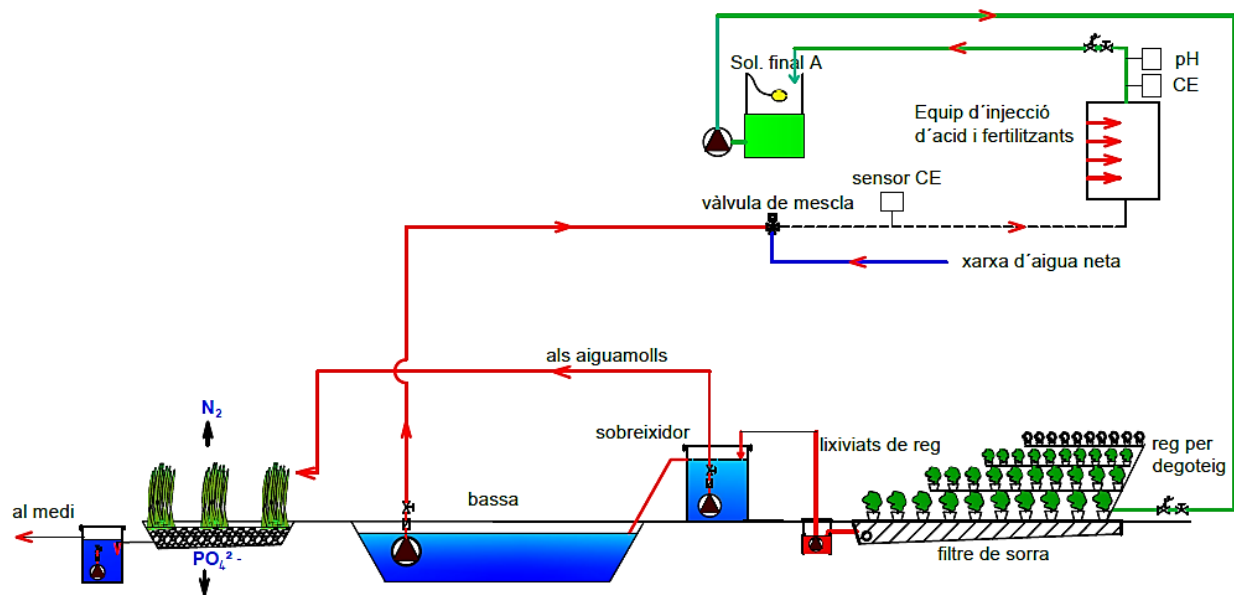


Figura 7-4. Proposta esquema del sistema CLEANLEACH en una explotació agrícola real

8. Conclusions

Les conclusions que es poden deduir amb les condicions d'aquest treball són:

- La implantació d'un sistema de tractament de lixiviats amb aiguamolls artificials plantat amb lliri groc (*Iris pseudachorus*) compleix la seva funció de desnitrificació.
- L'ús dels aiguamolls artificials quan el substrat utilitzat és un material de graves d'enderroc permet aconseguir pH adequats per la precipitació de fosfats. A diferència de si s'utilitzen graves granítiques.
- L'ús de les graves d'enderroc garanteix l'alliberament de bicarbonats i altres espècies químiques durant molt de temps.
- En un sistema tancat és imprescindible fer un estudi previ de les quantitats teòriques d'aigua de reg i de la fracció de lixiviat, per tal de dimensionar amb exactitud precisa els dipòsits on es recullen els lixiviats generats.
- El filtre de sorra horitzontal facilita la gestió de desinfectar els lixiviats generats.

9. Bibliografia

- Ahn, Young Ho. (2006). "Sustainable Nitrogen Elimination Biotechnologies: A Review". *Process Biochemistry* 41(8): 1709–21.
- Bernardo, Miguel, Marta Castilho Gomes and Jorge de Brito. (2016). "Demolition Waste Generation for Development of a Regional Management Chain Model". *Waste Management* 49: 156–69.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15302609>.
- Best, N.R. (1985). "Natural wetlands - southern Environment". In Reddy, K.R. and Smith, W.H. (eds), *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*. Magnolia Publishing Inc., Orlando, Florida, pp 99 - 120.
- Brix, H. (1993). "Macrophyte-Mediated Oxygen Transfer in Wetlands: Transport Mechanisms and Rates". In *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, , 391–98.
- Busse, L.B. et al. (2006). "Domoic Acid in Phytoplankton and Fish in San Diego, CA, USA". *Harmful Algae* 5(1): 91–101.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568988305000703>.
- Camargo, Julio A and Alvaro Alonso. (2006). "Ecological and Toxicological Effects of Inorganic Nitrogen Pollution in Aquatic Ecosystems: A Global Assessment". *Environment international* 32(6): 831–49.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412006000602>.
- Carpenter, Stephen R. (2005). "Eutrophication of Aquatic Ecosystems: Bistability and Soil Phosphorus". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102(29): 10002–5.
- Castañón, Guillermo and Javier Brañas. (2002). "La Recirculación de Drenajes en Cultivos Sin Suelo".
http://www.magrama.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agri/Agri_2002_836_134_138.pdf: 134–38.
http://www.magrama.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agri/Agri_2002_836_134_138.pdf.
- Cerhan, J.R. et al. (2001). "Association of Nitrate Levels in Municipal Drinking Water and Diet with Risk of Coronary Heart Disease Mortality: The Iowa Women's Health Study". *Epidemiology* 12: S84 457.
- Chan, E., Bursztynsky, T.A., Hantzsche, N.N and Litwin, Y.J. (1981). The use of wetlands for water pollution control. U.S. EPA Grant No. R-806357.
- de Guzmán Báez, Ana, Paola Villoria Sáez, Mercedes del Río Merino and Justo García Navarro. (2012). "Methodology for Quantification of Waste Generated in Spanish Railway Construction Works". *Waste Management* 32(5): 920–24.
- Fewtrell, Lorna. (2004). "Drinking-Water Nitrate, Methemoglobinemia, and Global Burden of Disease: A Discussion". *Environmental Health Perspectives* 112(14): 1371–74.

- Gomes, P. C C et al. (2015). "Comminution and Sizing Processes of Concrete Block Waste as Recycled Aggregates". *Waste Management* 45: 171–79.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.008>.
- Gumbricht, Thomas. (1993). "Nutrient Removal Processes in Freshwater Submersed Macrophyte Systems". *Ecological Engineering* 2(1): 1–30.
- Gupta, S K et al. (2000). "Recurrent Acute Respiratory Tract Infections in Areas with High Nitrate Concentrations in Drinking Water". *Environ Health Perspect* 108(4): 363–66.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10753096>.
- Hinsinger, Philippe. (2001). "Bioavailability of Soil Inorganic P in the Rhizosphere as Affected by Root-Induced Chemical Changes: A Review". In *Plant and Soil*, , 173–95.
- Li, Jihua et al. (2015). "Comparison of Four Aquatic Plant Treatment Systems for Nutrient Removal from Eutrophied Water". *Bioresource Technology* 179: 1–7.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.053>.
- Lillywhite, Robert. (2014). "Horticulture and the Environment". In *Horticulture: Plants for People and Places, Volume 2: Environmental Horticulture*, , 603–17.
- López, Alberto. (2015). "Treatment of leachates produced in green spaces by constructed wetlands". *Escola d'Agricultura de Barcelona, Castelldefels, Espanya*.
- Lorenzo, P., Medrano, E. and García, M. (1993). "Irrigation management in perlite". *Acta Hort.* 335:429-434.
- Marfà, O. (2000). "Recirculación en cultivos sin suelo". Ediciones de Horticultura S.L. ISBN: 84-87729-32-D Reus. Catalunya.
- Marfà, O., Cáceres, R., Casadesús, J. (2006). "Recirculación en cultivos sin suelo". In: *Los cultivos sin suelo (II). Compendios de Horticultura (J. Alarcón, Ed.)* Pp. 175-190. Ediciones de Horticultura. Reus. Catalunya. España.
- Marfà, O., R. Cáceres, L. Luján, L. Narváez and C. Cunill. Survey of Container Nursery Irrigation in Catalonia (Spain). *Acta Horticulturae*, 937: 1125-1132 (reviewed paper). 2012. (AC).
- Marfà, O. Burés, S. López, A. Narváez, L. Cáceres, R. (2016). "A new concept of urban garden lechate treatment and recycling using the CLEANLEACH System". *Acta Horticulturae* (en premsa).
- Martínez, E. and García, M. (1993). "Cultivos sin suelo: Hortalizas en clima mediterráneo". Ediciones de Horticultura S.L. ISBN: 84-87729-10-X. Reus. Catalunya.
- Narváez, Lola, Conrad Cunill, Rafaela Cáceres and Oriol Marfà (2011). "Design and Monitoring of Horizontal Subsurface-Flow Constructed Wetlands for Treating Nursery Leachates". *Bioresource Technology* 102(11): 6414–20.
- Prenafeta Boldú, Francesc, Hielke Van der Spoel and Nettie Buitelaar. (1997). "The Concept of Closed Systems in the Greenhouse Horticulture : A Bibliografic Review". [s.l.] : [s.n.].
http://ccuc.cbuc.cat/record=b2202340~S23*spi (September 23, 2016).
- Reddy, K.R. and W.F. De Busk. (1985). "Nutrient Removal Potential of Selected Aquatic Macrophytes". *Journal of Environment Quality* 14(4): 459.

- Reed, S.C. and Bastian, R.K. (1985). "Wetlands for wastewater treatment: an engineering perspective". In: Godfrey, P.J., Kaynor, E.R., Pelzarski, S. And Benforado, J. (eds), *Ecological Considerations in Wetland Treatment of Municipal Wastewaters*. Von Nostrand, Reinhold, New York, pp 444- 458.
- Schedel, Michael and Hans G. Trüper. (1980). "Anaerobic Oxidation of Thiosulfate and Elemental Sulfur in *Thiobacillus Denitrificans*". *Archives of Microbiology* 124–124(2–3): 205–10.
- Tarayre, Cédric et al. (2016). "New Perspectives for the Design of Sustainable Bioprocesses for Phosphorus Recovery from Waste". *Bioresource Technology* 206: 264–74.
- Vymazal, Jan. (2005). "Constructed Wetlands for Wastewater Treatment". In *Ecological Engineering*, , 475–77.
- Vymazal J (2007) "Removal of nutrients in various types of constructed wetlands". *Science of the Total Environment* 380:48-65.
- Vymazal, J. (2011). Constructed wetlands for wastewater treatment: Five decades of experience. *Environmental Science and Technology*, 45(1), 61–69.
<http://doi.org/10.1021/es101403q>
- Vymazal, Jan, and Tereza Březinová (2015). "The Use of Constructed Wetlands for Removal of Pesticides from Agricultural Runoff and Drainage: A Review". *Environment International* 75: 11–20.
- Walter R. Stahel. (2015). "Circular Economy". *Nature*: 6–9.
<http://www.philips.com/about/sustainability/ourenvironmentalapproach/greeninnovation/circulareconomy.page>.
- Wolfe, Amir H and Jonathan a Patz. (2002). "Reactive Nitrogen and Human Health: Acute and Long-Term Implications". *Ambio* 31(2): 120–25.
- Yafrate, Nicholas and Jan Vymazal. (2010). "Constructed Wetlands for Wastewater Treatment". *Water* 2(3): 530–49. <http://www.mdpi.com/2073-4441/2/3/530/>.

Recursos electrònics:

- Apabcn.cat. (2007). "Enderrocs I Residus De La Construcció". [online] Available at: http://www.apabcn.cat/documentacio/comunicacio/colegi/institucio/memoria/2010/03.Area_tecnica1_2.html [Accessed 15 Sep. 2016].
- Boe.es. (2016). BOE.es - Documento BOE-A-2007-21092. [online] Available at: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-21092 [Accessed 23 Jun. 2016].
- Boe.es. (2016). BOE.es - Documento BOE-A-2007-21092. [online] Available at: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-21092 [Accessed 23 Jun. 2016].
- Col·laboradors de Wikipedia. Desnitrificació. Wikipedia, (2016) [data de consulta: 16 de setembre del 2016]. Disponible en

<<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Desnitrificaci%C3%B3n&oldid=91791817>>.

CONSEGERIA DE MEDIO AMBIENTE. (2016). GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCDs). [online] Available at:

http://www.medioambientecantabria.es/documentos_contenidos/62453_1.guia.pdf
[Accessed 9 Sep. 2016].

Ec.europa.eu. (2016). Estadísticas sobre residuos - Statistics Explained. [online] Available at:

http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/es
[Accessed 17 Jul. 2016].

GESTORA DE RUNES DE CONSTRUCCIÓ, S.A. (2016). MEMÒRIA 2014. [online] Available at:

<http://www.grc.cat/pdf/memoria2014.pdf> [Accessed 23 Jun. 2016].

Red CYTMAR. (2016). Humedales artificiales para depuración. [online] Available at:

http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%206.pdf [Accessed 20 Jun. 2016].

Red CYTMAR. (2016). Macrofitas de interés en fitodepuración.. [online] Available at:

http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%207.pdf [Accessed 22 Jul. 2016].